

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS

**IMPACTO AMBIENTAL DA PISCICULTURA EM TANQUES-REDE EM
TRÊS LAGOS DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

GRACIELE PETARLI VENTUROTÍ

**VILA VELHA
FEVEREIRO/2013**

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS

**IMPACTO AMBIENTAL DA PISCICULTURA EM TANQUES-REDE EM
TRÊS LAGOS DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

GRACIELE PETARLI VENTUROTÍ

**VILA VELHA
FEVEREIRO/2013**

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

V469i Venturoti, Graciele Petarli.
Impacto ambiental da piscicultura em tanques-rede em três lagos do Norte do Espírito Santo, Brasil / Graciele Petarli Venturoti. – 2013.
101 f. : il.
Orientador: Levy de Carvalho Gomes.
Dissertação (mestrado em Ecologia de Ecossistemas) - Universidade Vila Velha, 2013.
Inclui bibliografias.
1. Piscicultura - Linhares (ES). 2. Impacto ambiental – Linhares (ES). 3. Peixe – Viveiros – Linhares (ES). I. Gomes, Levy de Carvalho. II. Universidade Vila Velha. III. Título.

CDD 333.714

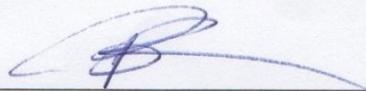
GRACIELE PETARLI VENTUROTÍ

**IMPACTO AMBIENTAL DA PISCICULTURA EM TANQUES-REDE EM
TRÊS LAGOS DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

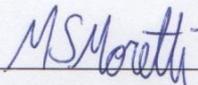
Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2013.

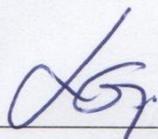
Banca Examinadora:



Dr. Rodrigo Roubach (MPA)



Dr. Marcelo da Silva Moretti (UVV)



Dr. Levy de Carvalho Gomes (UVV) – Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus, por me dar a saúde e a força de que precisei para aproveitar a oportunidade de realizar o mestrado, fortalecendo minha postura de pesquisadora e profissional.

Ao meu orientador, Prof. Levy de Carvalho Gomes, pelo empenho e pelo apoio para viabilizar o desenvolvimento desta pesquisa, e, claro, por ter aceitado me orientar mesmo sabendo das dificuldades que enfrentaríamos pela natureza do trabalho e pelos meus compromissos profissionais.

À minha família, especialmente minha mãe, que sempre me apoiou e me incentivou nas decisões de ampliar horizontes profissionais, e a quem devo tudo que sou.

Ao Felipe de Sá, por ser um grande incentivador de minha carreira e estar sempre ao meu lado, mesmo nos momentos em que eu mesma não gostaria de estar.

À Associação de Aquicultores de Linhares – Aqualin, e especialmente aos produtores dos lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta, pelo apoio financeiro e logístico, além da permissão de acesso irrestrito às suas fazendas de cultivo, permitindo que o projeto se desenvolvesse.

Aos parceiros do Acordo de Cooperação Técnica firmado em 2011, com o objetivo de realizar pesquisas e desenvolver estudos voltados aos lagos Palminhas, Palmas, Terra Alta, Nova e Juparanã, envolvendo o lema, a Seag, a UVV, a UFES e a Aqualin.

À toda equipe – estagiários da graduação, mestrandos e doutorandos – do Laboratório de Ictiologia Aplicada, especialmente à Alexandra Veronez e ao Rômulo V. Salla, por todo o auxílio e empenho, pois não se negaram a ajudar mesmo em feriados e fins de semana, acabando a noite com uma pizza.

À equipe do laboratório de Ecologia Terrestre e Aquática, e especialmente ao Professor Fabrício Saleme de Sá e aos alunos Gabriel, Caio e Lucas, não esquecendo os demais estagiários, pelo suporte dado à pesquisa e pelos momentos de distração e diversão que vivenciamos ao longo deste projeto.

A todo o colegiado e corpo docente do Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Ecologia de Ecossistemas da UVV pelos auxílios e inúmeros conhecimentos e trocas vivenciadas durante o mestrado.

Ao lema, por ter permitido que eu viabilizasse a execução da pesquisa sem restrições em minha atuação profissional.

Ao amigo Vinicius R. Silva, pela ajuda para elaboração dos mapas e de imagens geradas no trabalho, mesmo quando foi necessário prestar essa ajuda às 23h00m e aos fins de semana!

Ao CNPQ pelo financiamento do projeto e pela concessão de bolsa de estudos (processos # 562079/2010-6 e 485011/2011-5).

E também a todos aqueles que de forma direta ou indireta auxiliaram no desenvolvimento do curso e do projeto.

Agradeço por tudo!

*"O mundo está tão rápido que quem
diz que algo não pode ser feito é
geralmente interrompido por alguém
fazendo."*

Harry Emerson Fosdick

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Área de Estudo, evidenciando os três lagos, os pontos de coleta e o Rio Doce no Município de Linhares, ES. Os pontos pretos indicam os locais onde se encontravam as estações de piscicultura monitoradas e os pontos cinzas indicam os pontos onde não havia estações de cultivo..... 26
- Figura 1.2.** Médias mensais dos parâmetros físico-químicos da água monitorados *in situ* da água da superfície e do fundo de 3 lagos do baixo Rio Doce utilizados para a criação de peixes em tanque-rede. Dentro da Figura 1.2 média anual e o desvio padrão para cada lago..... 34
- Figura 1.3.** Parâmetros químicos e biológicos da água da superfície e do fundo de 3 lagos do baixo Rio Doce utilizados para a criação de peixes em tanque-rede. Dentro da Figura 1.3 constam a média anual e o desvio padrão para cada lago..... 36
- Figura 1.4.** Índice de estado Trófico (IET) mensal de 3 lagos do baixo Rio Doce utilizados para a criação de peixes em tanque-rede. IET de acordo com Carlson (1977) com modificações propostas por Toledo Junior *et al.* (1983)..... 37
- Figura 1.5.** Distribuição espacial do fósforo total e da clorofila *a* na superfície dos lagos Palminhas (A), Palmas (B) e Terra Alta (C). Resultado obtido a partir da média anual de cada ponto amostrado em cada lago (vide Figura 1.1), representados nesta figura como pontos pretos (com piscicultura) e pontos cinzas (sem piscicultura)..... 39
- Figura 2.1.** Área de Estudo evidenciando o lago Palminhas (A) com a localização aproximada das pisciculturas monitoradas (P1, P2, P3 e P4), representadas pelos pontos pretos, e um detalhe dos transectos aplicados em cada piscicultura estudada (B)..... 68
- Figura 2.2.** Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água subsuperficial realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros Fósforo Total, Clorofila *a* e Nitrogênio Amoniacal Total. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago..... 74

Figura 2.3. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água subsuperficial realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.....	75
Figura 2.4. Mapas que ilustram a condição de dispersão e concentração do parâmetro clorofila a ao longo dos transectos realizado nas pisciculturas (P1 a P4) instaladas no lago Palminhas, sendo Letras maiúsculas para estação “Seca” e letras minúsculas para estação “Chuvosa”. Os valores expostos na legenda estão fixados como µg/L e os pontos ao longo das imagens representam os locais de coleta.....	78
Figura 2.5. Mapas que ilustram a condição de dispersão e concentração do parâmetro fósforo total ao longo dos transectos realizado nas pisciculturas (P1 a P4) instaladas no lago Palminhas, sendo letras maiúsculas para estação “Seca” e letras minúsculas para estação “Chuvosa”. Os valores expostos na legenda estão fixados como mg/L e os pontos ao longo das imagens representam os locais de coleta.....	79
Figura 2.6. Mapas que ilustram a condição de dispersão e concentração do parâmetro Nitrogênio Amoniacal Total ao longo dos transectos realizados nas pisciculturas (P1 a P4) instaladas no lago Palminhas, sendo letras maiúsculas para estação “Seca” e letras minúsculas para estação “Chuvosa”. Os valores expostos na legenda estão fixados como mg/L e os pontos ao longo das imagens representam os locais de coleta.....	80
Figura 2.7. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água de fundo realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Nitrogênio Amoniacal Total e de percentual de matéria orgânica no sedimento. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.....	81

Figura 2.8. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água de fundo realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.....	82
Figura 2.9. Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido observado na localização das pisciculturas (P1, P2, P3 e P4) nas estações seca e chuvosa.....	85

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.1.** Valores médios observados em relação às pisciculturas monitoradas no lago Palminhas, para o período de fevereiro de 2011 a janeiro de 2012. VTUC = Volume Total das unidades de cultivo, sendo o volume útil total dos tanques-rede de cada piscicultura; CA = Conversão Alimentar..... 32
- Tabela 1.2.** Parâmetros físico-químicos da água de um dos riachos que abastece o lago de Palminhas, monitorados mensalmente *in situ* e em laboratório, durante 1 ano. Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). PT = fósforo total; NAT = nitrogênio amoniacal total; Temp = temperatura; Cond. = condutividade elétrica; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; un. = unidade..... 35
- Tabela 1.3.** Índice de Estado Trófico (IET) de 3 lagos do Baixo Rio Doce utilizados na criação de peixes em tanque-rede. IET de acordo com Toledo Junior *et al.* (1983). Secchi = profundidade do disco de Secchi; Ort. = ortofosfato; P total = fósforo total; Clo *a* = clorofila *a*..... 37
- Tabela 1.4.** Parâmetros físico-químicos da água da superfície do lago de Palminhas monitorados *in situ* mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). Secchi = profundidade do disco de Secchi; Temp = temperatura; Cond. = condutividade elétrica; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; un. = unidade..... 40
- Tabela 1.5.** Parâmetros físico-químicos da água do fundo do lago de Palminhas monitorados *in situ* mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). Temp = temperatura;

Cond. = condutividade elétrica; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; un. = unidade..... 41

Tabela 1.6. Parâmetros físico-químicos da água da superfície do lago de Palminhas monitorados mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012), de acordo com Incaper (2012). PT = fósforo total; OP = ortofosfato; Clo a = clorofila a; NAT = nitrogênio amoniacal total..... 42

Tabela 1.7. Mediana da matéria orgânica e fósforo do sedimento do lago de Palminhas monitorados *in situ* mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Estação seca - Abril a Setembro de 2011; estação chuvosa - Fevereiro e Março de 2011 e Outubro de 2011 a Janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre grupos em um dado período (Mann–Whitney - $P < 0.05$). Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os grupos (Mann–Whitney – $P < 0.05$)..... 43

Tabela 2.1. Valores observados em relação às pisciculturas monitoradas no lago Palminhas. Pisc = Piscicultura; VTUC = Volume Total das unidades de cultivo, sendo o volume útil total dos tanques-rede de cada piscicultura; CA = Conversão Alimentar; PTS = Fósforo Total no sedimento..... 72

Tabela 2.2. Medianas obtidas no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros fósforo total (PT), clorofila a (Clor. a), nitrogênio amoniacal total (NAT), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (Temp), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE), no monitoramento de água subsuperficial, além de resultados do teste estatístico realizado por meio de Anova on Ranks e pelo teste de Dunn..... 77

Tabela 2.3. Medianas obtidas no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros fósforo total (PT), clorofila a (Clor. a), nitrogênio amoniacal

total (NAT), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (Temp), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE), no monitoramento de água de fundo, e para o parâmetro matéria orgânica (MO) no sedimento, além de resultados do teste estatístico realizado por meio de Anova on Ranks e pelo teste de Dunn..... 84

Tabela I.1. (Anexo). Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros Fósforo Total, Clorofila *a* e Nitrogênio Amoniacal Total, para as amostras de água coletadas em superfície. Trans = distância do ponto de coleta em relação ao ponto inicial do transecto em metros; P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago..... 99

Tabela I.2. (Anexo). Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros Oxigênio Dissolvido e Temperatura para as amostras de água coletadas em superfície. Trans = distância do ponto de coleta em relação ao ponto inicial do transecto em metros; P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago..... 100

Tabela I.3. (Anexo). Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros Potencial Hidrogeniônico e Condutividade, para as amostras de água coletadas em superfície. Trans = distância do ponto de coleta em relação ao ponto inicial do transecto em metros; P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago..... 101

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
OBJETIVOS GERAIS	18
JUSTIFICATIVA	19
CAPÍTULO 1.....	20
INTRODUÇÃO.....	23
MATERIAL E MÉTODOS	26
Área de estudo	26
Coletas	27
Análises	28
Parâmetros limnológicos da água dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta ..	28
Cálculo do Índice de Estado Trófico dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	29
Mapeamento da distribuição de fósforo total e clorofila a dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	31
Impacto da piscicultura nos parâmetros limnológicos do lago Palminhas	31
RESULTADOS	33
Parâmetros limnológicos da água dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	33
Índice de Estado Trófico dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	36
Distribuição de fósforo total e clorofila a dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	38
Impacto da piscicultura nos parâmetros limnológicos do lago Palminhas	39
DISCUSSÃO.....	44
Parâmetros limnológicos dos lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	44
Índice de estado trófico dos lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	46
Distribuição de fósforo total e clorofila a nos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta	48

Impacto da piscicultura nos parâmetros limnológicos do lago Palminhas	50
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	53
AGRADECIMENTOS	55
REFERÊNCIAS	56
CAPÍTULO 2.....	62
INTRODUÇÃO.....	65
MATERIAL E MÉTODOS	67
Área de estudo	67
Coletas e análises	68
Mapeamento dos dados	70
Análises estatísticas	71
RESULTADOS	72
Água subsuperficial	73
Água de fundo	80
Perfis	84
DISCUSSÃO.....	86
CONCLUSÃO.....	91
AGRADECIMENTOS	92
REFERÊNCIAS.....	93
CONCLUSÕES GERAIS	98
ANEXO I.....	99

RESUMO

VENTUROTI, Graciele Petarli, M.Sc., Universidade Vila Velha - ES, fevereiro de 2013. **Impacto ambiental da piscicultura em tanques-rede em três lagos do norte do Espírito Santo, Brasil.** Orientador: Dr. Levy de Carvalho Gomes.

O desequilíbrio na relação entre a disponibilidade de recursos naturais e o seu uso vem tornando frequente a ocorrência de eventos relacionados à degradação da qualidade das águas. Algumas atividades, como a aquicultura, passaram a se destacar, mas o controle ambiental desta não está sendo desenvolvido e executado na mesma velocidade, antecipando os efeitos negativos da eutrofização dos corpos d'água. O objetivo deste trabalho foi avaliar as condições ambientais dos lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta, localizados em Linhares/ES, Brasil, monitorando-os, durante um ano, considerando que estes possuem pisciculturas de médio e grande porte em operação, chegando a uma produção individual outorgada de cerca de 672 ton/ano, e total de cerca de 2.700 ton/ano. Objetivou-se, também, caracterizar a dispersão de poluentes oriundos das pisciculturas existentes no lago Palminhas e avaliar o efeito das pisciculturas na qualidade da água deste lago, durante duas estações: seca e chuvosa. Os resultados obtidos evidenciam que os lagos Palminhas e Terra Alta apresentam indício de eutrofização mais acelerada, estando no nível Mesotrófico, enquanto Palmas se apresenta no estado Oligotrófico. Após comparação com estudos registrados anteriormente, observou-se, também, que os lagos tiveram sua qualidade piorada nos últimos 20 anos, especialmente Palminhas, que apresentou concentração média de Clorofila a vinte vezes maior que nos primeiros registros, porém não sendo possível associar tal condição somente às pisciculturas existentes. Os valores observados para fósforo total para o riacho que abastece o lago Palminhas (média anual de $0,040 \pm 0,028$ mg/L) evidenciam que há considerável contribuição externa ao lago. Os resultados obtidos mostram, ainda, que o lago não apresenta boa diluição dos poluentes monitorados, porém indicam que a localização das pisciculturas no lago é fundamental para assegurar as melhores condições de mistura, já que a piscicultura localizada em um dos meandros do lago foi a que apresentou os piores resultados, com maior concentração de poluentes em seu interior. Notou-se também que para alguns parâmetros, pelo período monitorado, os efeitos de mistura e dispersão de poluentes pode ultrapassar o limite de 500 metros a partir das pisciculturas, evidenciando que estas apresentam a capacidade de influenciar negativamente outras atividades desenvolvidas na região. Conclui-se do trabalho que os aspectos meteorológicos (período seco e período chuvoso) têm a capacidade de influenciar substancialmente a qualidade da água dos lagos estudados. Assim, este trabalho subsidiará as avaliações ambientais de pisciculturas em tanques-rede na região, trazendo instrumentos que servirão de suporte ao controle ambiental da atividade.

PALAVRAS-CHAVE: aquicultura, tilápia, ambiente lântico.

ABSTRACT

VENTUROTI, Graciele Petarli, M.Sc., Vila Velha University - ES, february 2013.
Environmental impact of fish cage aquaculture in three lakes in northern Espírito Santo, Brasil. Advisor: Dr. Levy de Carvalho Gomes.

The imbalance in the relationship between the availability of natural resources and their use is becoming a frequent occurrence of events related to the degradation of water quality. Some activities, such as aquaculture, began to stand out, but the environmental control is not being developed and executed at the same way, anticipating the negative effects of eutrophication of water bodies. The aim of this study was to evaluate the environmental conditions of lakes Palminhas, Palmas and Terra Alta, located in Linhares / ES, Brazil, monitoring them during an year, considering they have fish farms of medium and large-sized, reaching a production of individual granted about 672 tons / year, and total about 2,700 tons / year. The objective was also to characterize the dispersion of pollutants coming from the existing fish farms in the lake Palminhas and evaluate the effect of fish farms on water quality of this lake during two seasons: dry and rainy. The results show that lakes Palminhas and Terra Alta present evidence of accelerated eutrophication, being mesotrophic, while Palmas presents oligotrophic state. Comparing with previously recorded studies, we observed also that the lakes had the quality worsened over the past 20 years, especially Palminhas, which showed the average concentration of chlorophyll a about twenty times larger than the first record, but it is not possible to associate this condition only to existing fish farms. The observed values of total phosphorus in the stream that feeds the lake Palminhas show that there is considerable external contribution to the lake (annual average of $0.040 \pm 0.028 \text{ mg.L}^{-1}$). The results also show that the lake does not have good dilution of pollutants monitored, but indicate that the location of fish farms in the lake is essential to ensure the best conditions for mixing, since the fish located on a meander showed the worst results, with the highest concentration of pollutants inside. It was also noted that for some parameters, in the monitoring period, the effects of mixing and dispersion of pollutants exceed the limit of 500 meters from the fish farms, showing that they have the ability to negatively influence other activities in the region. We conclude that meteorological aspects (dry and rainy season) have the ability to substantially influence the water quality of the lakes studied. This work will subsidize environmental assessments of fish farming in cages in the region, bringing instruments that will support environmental control activity.

KEYWORDS: aquaculture, tilapia, lentic environment.

INTRODUÇÃO GERAL

A criação de peixes em tanques-rede é uma atividade em franca expansão do Brasil, recebendo incentivos governamentais e de instituições financiadoras para a implantação de novas fazendas de cultivo, para todos os portes. O Espírito Santo é um dos estados que vem recebendo tais incentivos e, com isso, a atividade está sendo disseminada ao longo do território estadual, porém o controle e as avaliações de impacto ambiental da piscicultura não estão sendo executadas neste mesmo ritmo. É preciso considerar, no entanto, que esta atividade é considerada potencial poluidora, pois durante todo o período de criação é feita a inserção de nutrientes ao meio de cultivo, na forma de alimento não consumido e excretas.

Assim, como o Espírito Santo possui bom potencial hídrico para realização desta atividade, e o município de Linhares, localizado no norte do estado, abriga um número substancial de fazendas de cultivo, foram definidos como área de estudo os lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta. Estes ecossistemas foram monitorados mensalmente por um ano e o monitoramento foi estendido para o lago Palminhas por mais três meses no período seco para composição dos dados avaliados. Desta forma, pode-se dizer que o trabalho foi realizado em duas etapas, estando a apresentação dos dados dividida em dois capítulos, intitulados: i) Impacto da piscicultura em tanques-rede nas variáveis limnológicas e no Índice de Estado Trófico de três lagos do baixo Rio Doce; e ii) Dispersão de poluentes oriundos de pisciculturas em tanques-rede instaladas em um lago do Norte do Espírito Santo, Brasil. Os capítulos encontram-se em formato de artigo, e a Revista adotada para as normas de referências é a *Science of the Total Environment*.

Este projeto nasceu da necessidade de um grupo de aquicultores do município de Linhares/ES, em trazer segurança e perpetuidade à sua atividade, e da vontade de pesquisadores em expandir conhecimentos acerca do funcionamento de um ambiente impactado por uma atividade antrópica. E a isso, somou-se a necessidade de o órgão ambiental estadual (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA) atualizar e acompanhar as informações acerca dos ambientes estudados e das condições das pisciculturas instaladas, o que culminou na realização de um Acordo de Cooperação Técnica que contemplou o IEMA, a

SEAG (Secretaria de Agricultura do Espírito Santo), a Aqualin, a UVV e a UFES. A parceria neste projeto foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

A realização deste projeto contou com o financiamento do CNPq e da Associação de Aquicultores de Linhares (Aqualin), e com amplo apoio e auxílio do lema.

OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos deste trabalho foram:

- Monitorar e avaliar as condições ambientais de três lagos localizados em Linhares/ES, Brasil, com pisciculturas em implantação e em operação, estabelecendo seu estado trófico; e
- Caracterizar a dispersão de poluentes oriundos das pisciculturas existentes no lago Palminhas e avaliar o efeito das pisciculturas na qualidade da água deste lago, durante duas estações: seca e chuvosa.

JUSTIFICATIVA

O estudo se desenvolveu em lagos localizados no município de Linhares/ES, por ser o que apresenta maior vocação regional para a atividade, sendo destaque na produção de tilápias em tanques-rede no Estado. O município possui pequenos, médios e grandes produtores em atuação, e alguns frigoríficos para processamento do pescado produzido, porém, no avanço da produção houve também crescimento dos conflitos pelo uso da água e do espaço público. Tal condição gerou a obrigação de melhor controle ambiental por parte do setor produtivo e maior rigor das autoridades ambientais competentes, não havendo, no entanto, informações suficientes para o desenvolvimento de ações eficazes.

Este trabalho foi executado em parceria com diversos entes, tendo-se baseado especialmente na necessidade de gerar e espacializar informações relativas ao impacto ambiental da piscicultura em tanques-rede em lagos naturais para subsidiar futuras ações dos agentes envolvidos com a atividade.

CAPÍTULO 1

RESUMO

VENTUROTI, Graciele Petarli, M.Sc. Universidade Vila Velha - ES, fevereiro de 2013. **Impacto da piscicultura em tanques-rede nas variáveis limnológicas e no Índice de Estado Trófico de três lagos do baixo Rio Doce.** Orientador: Dr. Levy de Carvalho Gomes.

A ocupação antrópica e a utilização dos recursos naturais vêm alterando substancialmente as características dos ambientes naturais, antecipando os efeitos negativos da eutrofização dos corpos d'água. O objetivo deste trabalho foi monitorar os lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta, que possuem pisciculturas de médio e grande porte em operação, durante o período de um ano, classificá-los de acordo com seu estado trófico e avaliar o potencial impacto da aquicultura nestes ambientes. Os resultados obtidos evidenciam que os lagos Palminhas e Terra Alta se encontram no nível Mesotrófico enquanto Palmas se apresenta Oligotrófico. Ao comparar os resultados obtidos com os de estudos anteriores, evidenciou-se, também, que os lagos tiveram redução na qualidade da água nos últimos 20 anos, especialmente Palminhas, que apresentou concentração média de Clorofila a vinte vezes maior que nos primeiros registros. O valor médio anual de fósforo total observado para o riacho que abastece o lago Palminhas ($0,040 \pm 0,028$ mg/L) evidencia que há considerável contribuição externa ao lago, não sendo, portanto, somente a piscicultura potencial contribuinte. Os resultados encontrados evidenciaram, também, que os aspectos meteorológicos (período seco e período chuvoso) têm a capacidade de influenciar substancialmente a qualidade da água dos lagos estudados. Assim, este trabalho subsidiará as avaliações ambientais de pisciculturas em tanques-rede na região, trazendo instrumentos que servirão de suporte ao licenciamento ambiental e à concessão de outorgas para uso dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: lago tropical, fósforo, clorofila a, estações, monitoramento.

ABSTRACT

VENTUROTI, Graciele Petarli, M.Sc. Vila Velha University - ES, february, 2013. **Impact of fish cage aquaculture in limnological variables and in Trophic State Index in three lakes of lower Doce River.** Advisor: Dr. Levy de Carvalho Gomes.

The human occupation and the use of natural resources are making substantial modifications in the characteristics of natural environments, anticipating the negative effects of water bodies eutrophication. The aim of this study was to classify the Trophic State of lakes Palminhas, Palmas and Terra Alta, that have medium and large size fish farms in operation and evaluate the potential impact of aquaculture in these environments. The results show that the lakes Palminhas and Terra Alta are mesotrophic level, but Palmas is oligotrophic level. It demonstrates that the lakes had their quality worsened over the past 20 years, especially Palminhas, which presented a mean concentration of chlorophyll a about twenty times larger than the first record. The value observed for total phosphorus in the stream that supplies the lake Palminhas (annual average 0.040 ± 0.028 mg/L) shows that there is considerable external contribution to the lake, and therefore not only fish farming is potential contributor. The results showed also that the meteorological aspects (dry season and rainy season) have the ability to substantially influence the water quality of the studied lakes. This work will subsidize environmental assessments of fish farms in cages in the region, bringing instruments that will support environmental licensing and the granting of concessions for use of water resources.

KEYWORDS: tropical lake, phosphorus, chlorophyll a, seasons, monitoring.

INTRODUÇÃO

A criação de peixes em tanques-rede é um sistema de produção de alimentos de grande potencial econômico. Existem vantagens nesse sistema de cultivo, como constante renovação da água e, para grande parte das espécies cultiváveis, alta produtividade (Beveridge, 2008). Entretanto, alguns pressupostos devem ser cumpridos como o monitoramento constante da qualidade da água do meio de cultivo e sua capacidade de assimilação e dispersão dos poluentes gerados. Através da caracterização do ambiente de cultivo é possível indicar o nível de degradação deste pela atividade, além de prever o risco de ocorrência de eventos críticos, como florações de algas tóxicas e mudança de estado trófico (Guo *et al.*; 2009; Wetzel e Likens, 2000).

A criação de tilápias em tanques-rede favorece o incremento de elementos poluentes no ambiente, especialmente o nitrogênio (N) e o fósforo (P), principais limitantes da produtividade primária em ambientes aquáticos naturais (Wetzel, 2001). Há registros da criação de tilápias em tanques-rede, em caráter experimental e comercial, desde o início dos anos 1970, e essa atividade veio se expandindo nos trinta anos seguintes em ritmo acelerado, sendo que especialmente em alguns países tropicais e subtropicais é crescente a utilização de lagos e lagoas naturais e artificiais para criação de peixes em tanques-rede, principalmente tilápia (Watanabe *et al.*, 2002). Segundo Lovshin (2000), no Brasil tornou-se comum a criação de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede instalados em diferentes corpos d'água doce.

Entretanto, estes corpos d'água, por serem sistemas lênticos e com certa estabilidade térmica, ao receberem despejos de altas cargas de nutrientes, tornam-

se um ambiente favorável para o aumento da biomassa de fitoplâncton o que pode alterar a qualidade da água e o estado trófico do meio, especialmente pela incorporação de nitrogênio (N) e fósforo (P), principais limitantes à produtividade primária em ambientes aquáticos naturais (Beveridge, 2008; Wetzel, 2001). Para Beveridge (2008), essa dinâmica das principais perdas de fósforo e nitrogênio orgânico para o meio aquático, um dos principais fatores responsáveis pela otimização da produção primária, está associada ao arraçoamento feito na criação intensiva de peixes em tanques-rede, pois as rações comerciais utilizadas apresentam altos teores de fósforo e nitrogênio e grau de digestibilidade mediano, além de potencialização dos problemas pelo mau manejo alimentar.

Nesse contexto, a maior parte dos estudos atuais, em ambientes tropicais, tem focado na quantificação e na qualificação do estado trófico dos ecossistemas lênticos, baseada especialmente na concentração de Fósforo Total e de Clorofila *a*. Isto se dá principalmente pelo cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), que se apresenta em uma escala de zero a 100, com classes numéricas contínuas, que quantificam o estado trófico de um corpo d'água, e tem se mostrado o mais aceitável método para classificação do estado trófico de lagos (Xu, 2009).

Salas e Martino (1991), ao analisar vários corpos d'água em áreas tropicais e subtropicais da América do Sul e o Caribe, observaram que, nem tanto o nitrogênio, mas o fósforo era o principal fator limitante para o crescimento do fitoplâncton nos mesmos. E, segundo Esteves (2011) e Wetzel (2001), na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade, tendo sido apontado como grande responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas, evidenciando a importância do estudo deste nutriente.

Sabe-se que a incorporação de nutrientes ao meio de cultivo pode alterar ou restringir drasticamente o uso da água para fins específicos, e há frequente vínculo desta com os processos de eutrofização dos corpos d'água e a proliferação de algas produtoras de toxinas, sendo que o aumento da concentração desses nutrientes pode gerar, ainda, impacto na diversidade bentônica e fitoplanctônica, e esta pode vir a ser dominada por cianobactérias (Affonso *et al.*, 2011; Petrúcio *et al.*, 2006; Søndergaard *et al.*, 2011).

Além disso, é notável a capacidade de o sedimento abrigar substâncias poluentes e contaminantes de origem antrópica, e mantê-las em baixa ou nenhuma atividade por décadas, porém a ocorrência de eventos externos, como ventos, mudanças de temperatura, precipitação, atividades de dragagens e descarte de outros poluentes, pode ser suficiente para que transformações aconteçam (Russel *et al.*, 2011). Essas podem, por vezes, ocasionar a liberação de poluentes na coluna d'água, o que torna fundamental conhecer o comportamento deste ambiente e as interações a que eles se submetem (Søndergaard *et al.*, 2011).

Assim, o objetivo deste trabalho foi monitorar mensalmente, por um ano, os lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta, utilizados para piscicultura em tanques-rede, para determinar seu estado trófico e, ainda, avaliar o efeito da piscicultura na qualidade da água no lago das Palminhas, mais densamente ocupado pela atividade. Para tanto, foram monitorados *in loco* profundidade do disco Secchi, oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica; e em laboratório, os parâmetros fósforo total, clorofila *a*, ortofosfato, DBO₅ e nitrogênio amoniacal total. Além disso, foram feitas algumas coletas de sedimento no lago Palminhas, para valoração dos parâmetros matéria orgânica e fósforo total, permitindo melhor avaliação dos impactos das pisciculturas neste lago.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os lagos Palmas, Palminhas e Terra Alta (Figura 1.1) fazem parte de um complexo lagunar do baixo Rio Doce composto por 69 lagos e lagoas, podendo ser localizados pelas coordenadas geográficas $19^{\circ}24'47''\text{S}$ e $40^{\circ}12'06''\text{O}$; $19^{\circ}25'31''\text{S}$ e $40^{\circ}14'58''\text{O}$; $19^{\circ}28'18''\text{S}$ e $40^{\circ}21'44,68''\text{O}$, respectivamente. Os três lagos são cavados nas camadas terciárias da formação Barreiras, sendo que os dois primeiros têm o formato dendrítico (Esteves *et al.*, 1995) enquanto que Terra Alta mostra-se mais elíptica. Os três lagos são abastecidos por diversos tributários de portes diferenciados e por água da chuva. A saída de água é feita por canais de escoamento próprios que drenam para o Rio Doce.

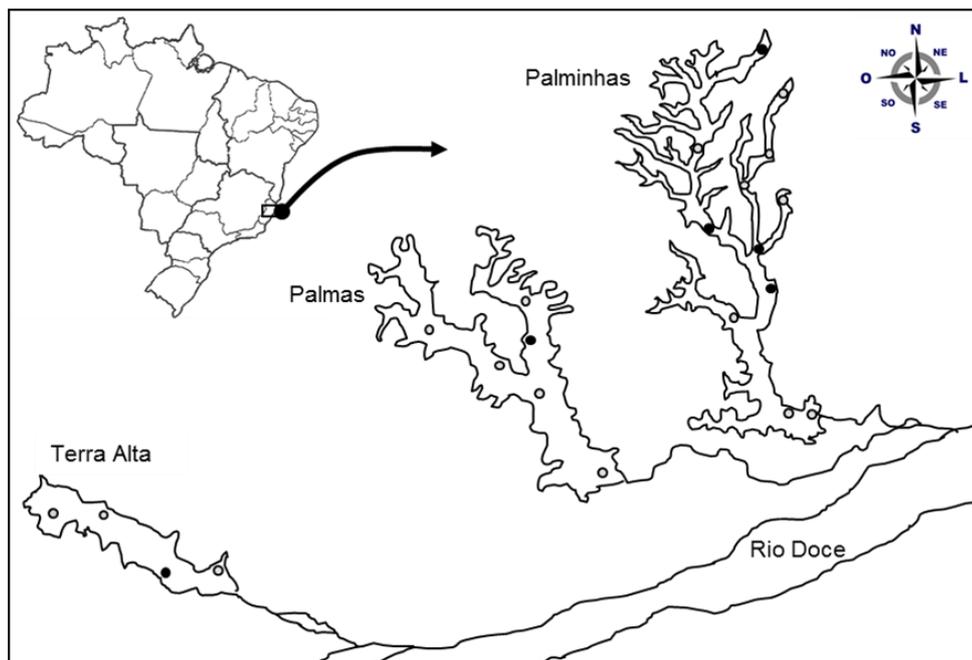


Figura 1.1. Área de Estudo, evidenciando os três lagos, os pontos de coleta e o Rio Doce no Município de Linhares, ES. Os pontos pretos indicam os locais onde se encontravam as estações de piscicultura monitoradas e os pontos cinzas indicam os pontos onde não havia estações de cultivo.

O lago Terra Alta possui cerca de 420 ha de área total e profundidade máxima observada de 14 metros, enquanto Palmas possui cerca de 1.100 ha e profundidade máxima observada de aproximadamente 50 metros e Palminhas, cerca de 800 ha e profundidade máxima de cerca de 24 metros. Os três lagos são amplamente utilizados para recreação, balneabilidade e pesca artesanal, além da criação de peixes em tanque-rede.

A ocupação das margens dos três lagos é muito semelhante, com algumas residências e áreas de lazer de uso individual e coletivo, além de haver pastagens, silvicultura/heveicultura e plantações de café e banana, com pequena porção de vegetação florestal nativa ainda preservada.

O lago Palminhas possui quatro pisciculturas instaladas, com criação de tilápia em tanques-rede e porte entre 540 e 1.176 m³ de tanques instalados, produção anual estimada em cerca de 710 ton e conversão alimentar aparente próxima de 1,60:1 (Tabela 1.1). O lago Palmas possui uma piscicultura instalada, outorgada para 1.117,5 m³ de tanque e produção anual de 161 ton, apresentando conversão alimentar aparente de 1,5:1. O lago Terra Alta também tem uma piscicultura instalada, outorgada para até 10.500 m³ de tanque e produção anual máxima de 600 ton, apresentando conversão alimentar aparente de 1,6:1.

Coletas

Foram realizadas 12 coletas mensais entre Fevereiro de 2011 e Janeiro de 2012 nos lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta. Foram amostrados doze pontos em Palminhas, sendo quatro em pisciculturas e oito em áreas sem piscicultura. Em Palmas as amostragens foram realizadas em seis pontos, sendo um na piscicultura existente e outros cinco pontos em áreas sem piscicultura (Figura 1.1). Em Terra

Alta foram amostrados quatro pontos, sendo um na piscicultura existente e outros três pontos em áreas sem piscicultura (Figura 1.1). Os pontos sem piscicultura foram escolhidos com base nas características do ambiente, como presença de vegetação florestal e menor ocorrência de atividades antrópicas nas margens, circulação de água, profundidade e representatividade em relação ao todo, além da similaridade com os pontos onde existem criações.

Para avaliar a ocorrência de contribuições externas de nutrientes e demais parâmetros monitorados para o lago Palminhas, para o qual se mensurou o impacto das pisciculturas nas variáveis limnológicas, também foi monitorado mensalmente um ponto em um riacho que abastece este lago.

Foi coletado, ainda, sedimento em cada ponto monitorado para análise de matéria orgânica e fósforo total, tendo sido realizadas três dragagens (réplicas) com busca-fundo do tipo Petersen. O material foi colocado em uma bandeja e misturado, e dele foram retiradas duas amostras de cerca de 200 mL, sendo uma para análise de matéria orgânica e outra para fósforo total.

Análises

Parâmetros limnológicos da água dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

Os pontos de coleta foram monitorados *in situ* para profundidade do disco de Secchi, além de oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica utilizando-se um aparelho multiparâmetro (Horiba U52G), tanto para subsuperfície (a 1 metro de profundidade) quanto para fundo (a 1 metro acima do sedimento). Foram também coletadas amostras de água subsuperficial, com auxílio de uma garrafa de Van Dorn, para análise de fósforo total, ortofosfato,

nitrogênio amoniacal total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) e Clorofila *a*. O fósforo total e o ortofosfato foram analisados pelo método do ácido ascórbico, sendo este último pré-filtrado, e a Clorofila *a* foi analisada pelo método de extração por acetona. O nitrogênio amoniacal total foi analisado pelo método do fenato e a DBO foi analisada pelo método de incubação a 20°C por 5 dias.

Foi realizado um teste com um padrão rastreável Nirst para aferir a precisão dos resultados de fósforo total (CV do resultado esperado = 8%). A metodologia de preparo de vidrarias para coleta e armazenamento da água e sua análise seguiu rigorosamente os métodos descritos em APHA (1998).

Cálculo do Índice de Estado Trófico dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

O Índice de estado trófico de cada lago foi calculado de acordo com Toledo Junior *et al.* (1983), que se trata de uma adaptação ao método desenvolvido por Carlson (1977) com modificações para ambientes tropicais. Para este índice os autores promoveram transformações lineares dos valores obtidos para as variáveis utilizadas no modelo de Carlson (1977), acrescentando-se mais uma variável. O Índice de Carlson pode ser calculado e classificado a partir de três parâmetros de qualidade da água ou de apenas um deles, sendo profundidade do disco de Secchi (S), clorofila *a* (Cl) e fósforo total (P). No entanto, a metodologia proposta por Toledo Junior *et al.* (1983) prevê somente a classificação a partir de um valor único, que representa a média dos Índices obtidos pelo cálculo desses três parâmetros e do parâmetro Fosfato inorgânico (PO₄, fósforo reativo solúvel ou ortofosfato). As equações indicadas a seguir são utilizadas para o cálculo do Índice do Estado Trófico com as adaptações propostas por Toledo Junior *et al.* (1983):

$$IET(S): 10 [6 - 0,64 + \ln S / \ln 2];$$

$IET (Cl): 10 [6 - 2,04 - 0,695 * \ln (Cl) / \ln 2];$

$IET (P): 10 [6 - \ln (80,32 / (P) / \ln 2];$

$IET (PO_4): 10 [6 - \ln (21,67 / PO_4) / \ln 2];$

Sendo *S* o valor de leitura de profundidade do disco de Secchi (em metros); *Cl*, o valor de clorofila *a* (em µg/L); *P*, o valor de fósforo total (em mg/L); e *PO₄* o valor de ortofosfato (em mg/L).

Entretanto, de acordo com Toledo Junior *et al.* (1983), a profundidade do disco de Secchi (indicador de transparência da água) é muito afetada pela elevada turbidez dos reservatórios na maior parte do ano. Tal condição também é observada nos lagos em estudo, haja vista a quantidade de sedimento carregada para seu interior durante a ocorrência de precipitações, mesmo de pequena proporção. Assim, para contornar este problema, seguiu-se a sugestão dos autores de ponderar o IET médio, dando menor peso à variável profundidade do disco de Secchi, da seguinte forma:

$IET \text{ (médio)}: IET (S) + 2 \times [IET (P) + IET (PO_4) + IET (Cl)] / 7$

Para obter o valor final do IET da cada lago foi calculado o IET de cada parâmetro, em cada ponto de coleta, a cada mês, e, ao final, foi feita a média ponderada de todos os valores encontrados, permitindo dessa forma avaliar as condições específicas de cada período. A classificação proposta por Toledo Junior *et al.* (1983) é a seguinte (de acordo com o valor do IET): Ultraoligotrófico ≤ 24, Oligotrófico 24,1 – 44, Mesotrófico 44,1 – 54, Eutrófico 54,1 – 74, Hipereutrófico > 74.

Mapeamento da distribuição de fósforo total e clorofila a dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

O valor médio anual obtido para fósforo total e clorofila a dos pontos monitorados foram compilados e inseridos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) – através do aplicativo ArcGis –, previamente alimentado com uma imagem obtida do Ortofotomosaico do Espírito Santo, disponibilizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. O Ortofotomosaico é um produto cartográfico digital de escala 1:15.000 PEC "A"1, de resolução espacial de 1m, elaborado a partir de um Levantamento Aerofotogramétrico na escala 1:35.000 realizado em junho de 2007 sobre a região sul e maio/junho de 2008 sobre a região norte do estado. O Ortofotomosaico é formado pela articulação de cerca de 540 blocos de imagens de 10x10km. Para produção dos mapas foi realizada a digitalização da imagem dos lagos estudados e utilizada a ferramenta ArcMap através da função de interpolação de dados.

Impacto da piscicultura nos parâmetros limnológicos do lago Palminhas

Para avaliar o impacto da piscicultura na qualidade da água do lago de Palminhas foram utilizados os quatro pontos referentes às pisciculturas amostradas e quatro dos oitos pontos amostrados em áreas com ausência das pisciculturas. Foram escolhidos os quatro pontos com características ambientais mais próximas as de onde as pisciculturas estavam instaladas.

Foram consideradas as informações relativas à profundidade máxima observada durante os períodos de seca e chuva para as quatro criações, bem como foram identificados sua capacidade de produção, o volume útil total das unidades de

cultivo e a conversão alimentar média observada durante o período de monitoramento. Tais valores estão apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Valores médios observados em relação às pisciculturas monitoradas no lago Palminhas, para o período de fevereiro de 2011 a janeiro de 2012. VTUC = Volume Total das unidades de cultivo, sendo o volume útil total dos tanques-rede de cada piscicultura; CA = Conversão Alimentar.

Piscicultura	Profundidade		VTUC (m ³)	Produção (Ton/ano)	CA
	Chuvosa (m)	Seca (m)			
1	8,8 – 11,8	7,5 – 9,8	540	132	1,65
2	16,5 – 19,2	15,5 – 19,0	1.176	288	1,52
3	15,7 – 18,15	15,4 – 17,8	900	118	1,6
4	19,0 – 21,3	18,0 – 20,0	664	170	1,55

Para análise dos dados, os meses correspondentes a cada estação (seca e chuvosa) foram obtidos de acordo com a pluviosidade média mensal entre os anos de 1976 e 2011. Esses dados foram coletados na estação meteorológica de Linhares localizada no raio de 50 quilômetros dos lagos amostrados (Incaper, 2012). Foram considerados como estação seca os meses de abril a setembro de 2011 e, chuvosa, fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012.

Todos os dados obtidos para o lago de Palminhas, em todos os parâmetros monitorados, foram submetidos a um teste de normalidade e as variáveis que não apresentarem distribuição normal foram transformadas. Em seguida, os resultados foram analisados por uma Análise de Variância de dois fatores: estação do ano (seca e chuvosa) e piscicultura [presença (4 pisciculturas) e ausência (quatro pontos sem influência da piscicultura)] e teste de Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Parâmetros limnológicos da água dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

Os valores observados para os parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica estão apresentados na Figura 1.2. O valor médio do pH da superfície ficou próximo a 7. O pH foi relativamente constante ao longo do ano nos três lagos, apresentando os valores mais baixos em junho e os mais altos em novembro e fevereiro. A concentração de oxigênio na superfície ficou acima de 5,0 mg/L em todos os lagos e em todas as amostragens, com a exceção da amostragem de mês de maio e junho no lago das Palminhas, em que a concentração média de oxigênio foi de 4,82 e 4,42 mg/L, respectivamente. O oxigênio dissolvido do fundo foi mais alto no lago de Palmas em todas as amostragens, com a exceção dos meses de junho, julho e setembro, quando o oxigênio dissolvido do fundo foi ligeiramente maior em Terra Alta. A temperatura média foi muito similar entre os lagos, com valor médio em torno de 27°C na superfície e 25°C no fundo. A temperatura apresentou marcada sazonalidade com valores mais baixos nos meses de inverno e valores mais altos nos meses de verão. A condutividade elétrica média apresentou um padrão similar entre a superfície e o fundo, sendo sempre maior em Palminhas (83 μ S/cm na superfície e 87 μ S/cm no fundo), seguida por Palmas (65 μ S/cm na superfície e 64 μ S/cm no fundo) e Terra Alta (56 μ S/cm na superfície e 58 μ S/cm no fundo).

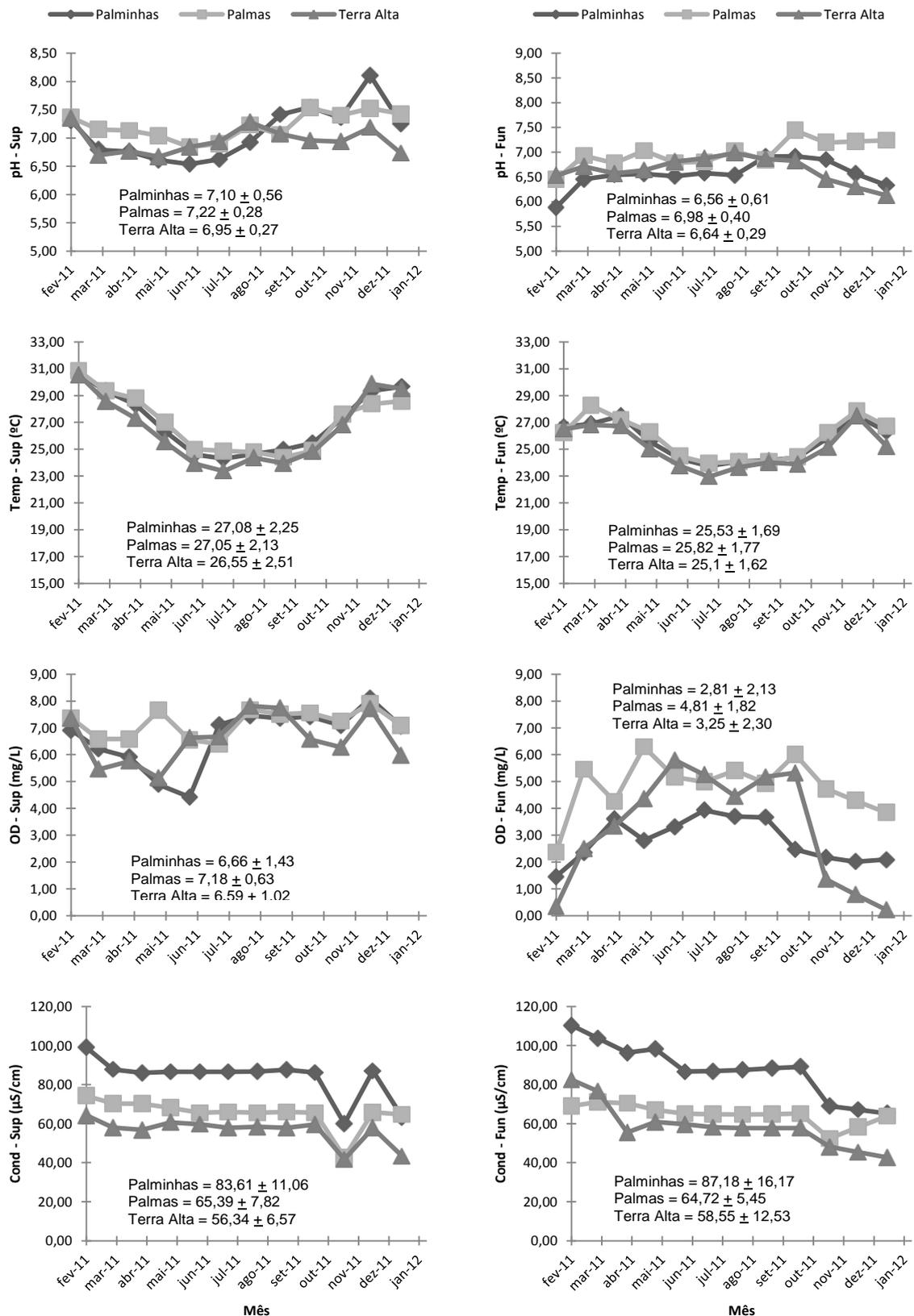


Figura 1.2. Médias mensais dos parâmetros físico-químicos da água monitorados *in situ* da água da superfície e do fundo de 3 lagos do baixo Rio Doce utilizados para a criação de peixes em tanque-rede. Dentro da Figura 1.2 média anual e o desvio padrão para cada lago.

A variação dos parâmetros fósforo total, ortofosfato, clorofila *a*, profundidade do disco de Secchi, DBO e nitrogênio amoniacal total durante o ano de coleta estão apresentados na Figura 1.3. Os valores médios de fósforo total e clorofila *a* foram, respectivamente: 0,033 e 12,18; 0,026 e 1,67; 0,036 mg/L e 3,42 µg/L, para Palminhas, Palmas e Terra Alta. O fósforo apresentou valores mais altos nos meses chuvosos em todos os lagos. A clorofila *a* média em Palminhas foi cerca de 10 vezes maior do que a média de Palmas e 4 vezes maior que a média de Terra Alta. A profundidade do disco de Secchi média em Palmas é maior que a dos demais lagos em todos os meses de coleta, sendo o valor médio, cerca do dobro do obtido nos outros lagos estudados.

Os valores médios observados durante o monitoramento dos parâmetros fósforo total, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH para a água do riacho que abastece o lago Palminhas estão indicados na Tabela 1.2.

Tabela 1.2. Parâmetros físico-químicos da água de um dos riachos que abastece o lago de Palminhas, monitorados mensalmente *in situ* e em laboratório, durante 1 ano. Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). PT = fósforo total; NAT = nitrogênio amoniacal total; Temp = temperatura; Cond. = condutividade elétrica; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; un. = unidade.

Estação	PT (mg/L)	NAT (mg/L)	Temp (°C)	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	pH (un.)
Seca	0,032 ±0,021	0,13±,09	22,45±0,78	7,35±1,29	52,58±4,75	6,03±0,40
Chuvosa	0,050±0,033	0,10±0,09	26,73±1,62	6,04±0,77	45,25±13,32	6,26±0,25
Média	0,040±0,028	0,11±0,09	25,30±2,56	6,69±1,22	48,92±10,27	6,14±0,34

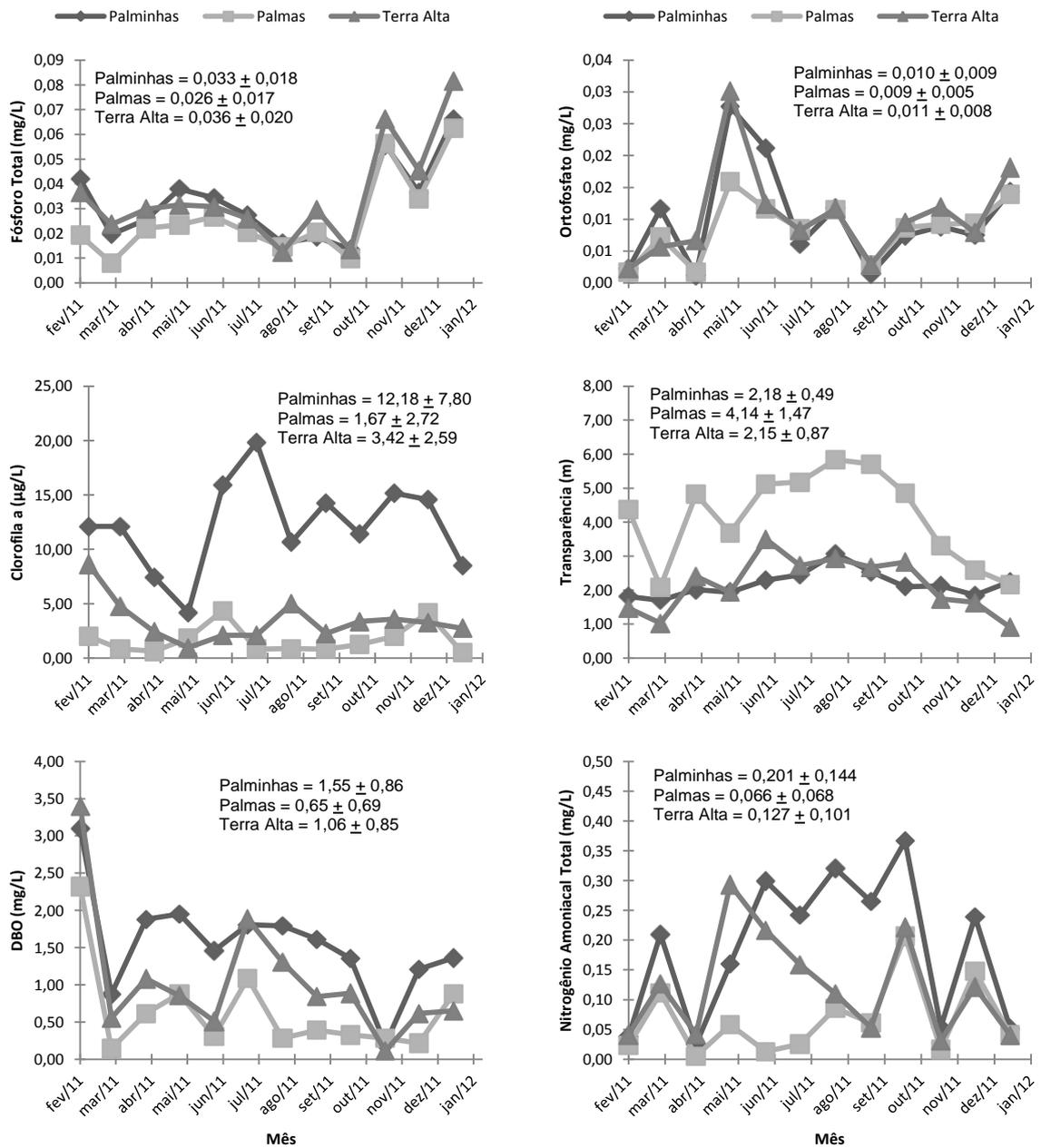


Figura 1.3. Parâmetros químicos e biológicos da água da superfície e do fundo de 3 lagos do baixo Rio Doce utilizados para a criação de peixes em tanque-rede. Dentro da Figura 1.3 constam a média anual e o desvio padrão para cada lago.

Índice de Estado Trófico dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

Os resultados do IET estão apresentados na Figura 1.4 e na Tabela 1.3. O IET para profundidade do disco de Secchi, ortofosfato e fósforo foi mais alto em

Terra Alta, e o IET de clorofila *a* foi mais alto em Palminhas. O IET de clorofila *a* em Palminhas foi o dobro do obtido para Palmas. O IET final em Palminhas e Terra Alta foi de 51,66 e 48,75, respectivamente, indicando que os lagos estão classificados como mesotrófico. O IET de Palmas é de 40,81, indicando que esse lago é classificado como oligotrófico.

Esses resultados foram obtidos a partir do cálculo mensal do IET para cada ponto monitorado seguido da média mensal do Índice de cada lago.

Tabela 1.3. Índice de Estado Trófico (IET) de 3 lagos do Baixo Rio Doce utilizados na criação de peixes em tanque-rede. IET de acordo com Toledo Junior *et al.* (1983). Secchi = profundidade do disco de Secchi; Ort. = ortofosfato; P total = fósforo total; Clo *a* = clorofila *a*.

Lago	Transp.	Ort.	P total	Clo <i>a</i>	IET Final	Classificação
Palminhas	39,90	63,56	44,66	52,64	51,66	Mesotrófico
Palmas	31,26	59,67	40,77	26,75	40,81	Oligotrófico
Terra Alta	41,02	65,04	46,14	38,94	48,75	Mesotrófico

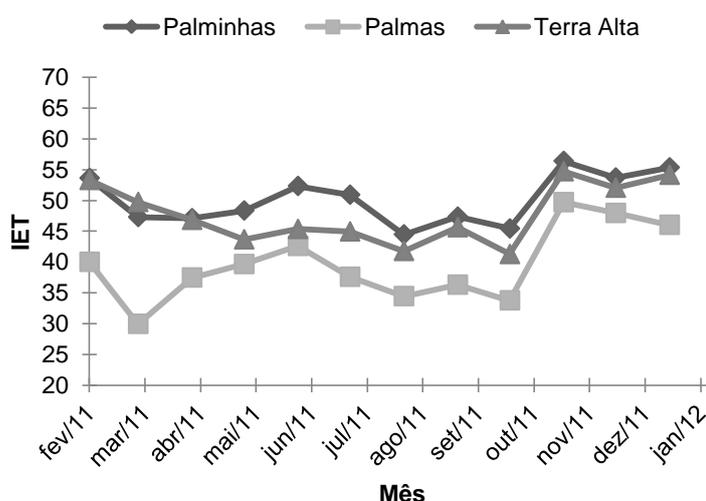


Figura 1.4. Índice de estado Trófico (IET) mensal de 3 lagos do baixo Rio Doce utilizados para a criação de peixes em tanque-rede. IET de acordo com Carlson (1977) com modificações propostas por Toledo Junior *et al.* (1983).

Distribuição de fósforo total e clorofila a dos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

Os lagos Palmas e Terra Alta são bastante homogêneos quanto a distribuição de fósforo e clorofila *a*. A clorofila *a* não apresentou nenhuma variação ao longo desses lagos. Em Palmas o fósforo é mais alto na região do braço direito do lago, onde existe a piscicultura instalada. Terra Alta apresentou a maior concentração de fósforo próximo à entrada de água proveniente de um riacho que abastece o lago. No final do lago, próximo ao canal de escoamento para o rio Doce, existe uma diminuição na concentração de fósforo total.

O lago Palminhas foi o que apresentou a maior variação nas concentrações de fósforo total e clorofila *a*. Entretanto, essas variáveis apresentaram um comportamento espacial semelhante no lago. As concentrações de fósforo total e clorofila *a* são mais altas ao Norte do lago, onde notadamente o formato é mais dendrítico. Os locais com pisciculturas instaladas próximas às reentrâncias são os locais com maior concentração dessas variáveis. O centro-sul do lago apresentou concentrações mais baixas dessas variáveis, mesmo nos locais onde existem pisciculturas instaladas.

A identificação do comportamento da distribuição da clorofila *a* e do fósforo total se encontra na Figura 1.5.

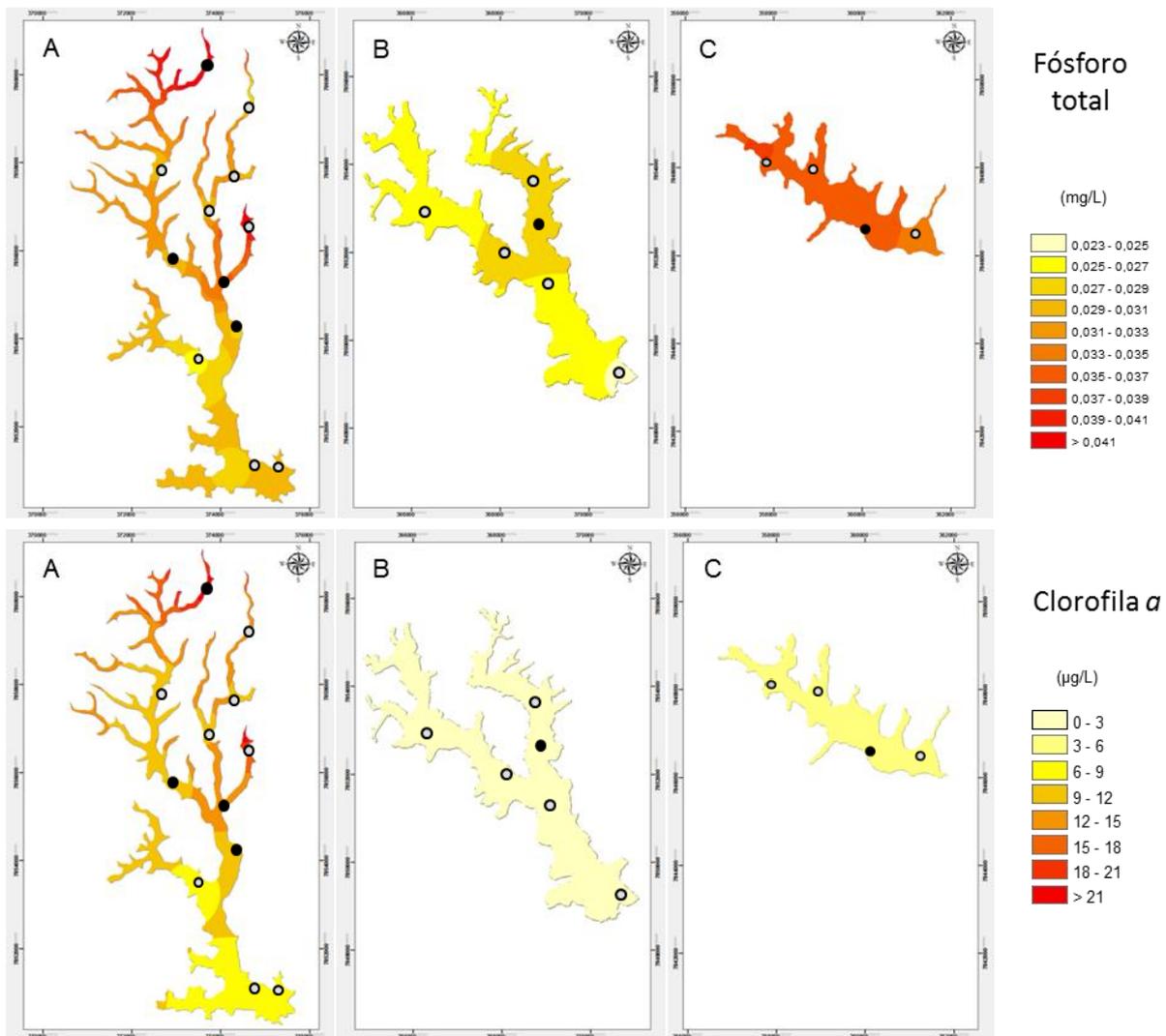


Figura 1.5. Distribuição espacial do fósforo total e da clorofila *a* na superfície dos lagos Palminhas (A), Palmas (B) e Terra Alta (C). Resultado obtido a partir da média anual de cada ponto amostrado em cada lago (vide Figura 1.1), representados nesta figura como pontos pretos (com piscicultura) e pontos cinzas (sem piscicultura).

Impacto da piscicultura nos parâmetros limnológicos do lago Palminhas

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos da água observados durante os períodos de seca e chuva para o monitoramento *in situ* no lago Palminhas estão apresentados nas Tabelas 1.4 e 1.5. Todos os parâmetros analisados sofreram influência da estação do ano, sendo a profundidade do disco de Secchi e a condutividade elétrica significativamente maiores na estação seca do que

na estação chuvosa. A temperatura, o oxigênio dissolvido e o pH foram significativamente maiores na estação seca em relação à estação chuvosa. O pH e o oxigênio dissolvido foram significativamente menores nos pontos com piscicultura do que nos pontos sem piscicultura.

Tabela 1.4. Parâmetros físico-químicos da água da superfície do lago de Palminhas monitorados *in situ* mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). Secchi = profundidade do disco de Secchi; Temp = temperatura; Cond. = condutividade elétrica; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; un. = unidade.

Condição	Estação	Secchi (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	OD (mg/L)	pH (un.)
Com pisc.	Seca	2,29 ± 0,41	25,60 ± 1,45	87,59 ± 0,84	5,75 ± 1,73	6,74 ± 0,36
	Chuva	1,89 ± 0,41	28,58 ± 1,79	80,53 ± 13,96	6,83 ± 0,86	7,25 ± 0,57
Sem pisc.	Seca	2,43 ± 0,56	25,50 ± 1,48	86,23 ± 2,66	6,41 ± 1,71	6,85 ± 0,40
	Chuva	2,01 ± 0,32	28,67 ± 1,80	80,53 ± 15,49	7,28 ± 0,75	7,46 ± 0,53
ANOVA dois fatores (GL = 95)						
Condição (P; F)		0,089; 2,963	0,874; 0,0253	0,953; 0,00345	0,001; 10,053	0,016; 6,033
Estação (P; F)		< 0,001; 26,823	<0,001; 77,913	0,009; 7,112	0,002; 12,607	<0,001; 34,155
Interação (P; F)		0,775; 0,082	0,932; 0,00732	0,655; 0,201	0,208; 1,610	0,600; 0,278

Os resultados dos parâmetros físico-químicos da água do fundo (Tabela 1.5) são similares aos obtidos para as análises de superfície, sendo todos os parâmetros analisados influenciados pela estação do ano. O oxigênio dissolvido foi significativamente menor em pontos com a presença de piscicultura.

Tabela 1.5. Parâmetros físico-químicos da água do fundo do lago de Palminhas monitorados *in situ* mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). Temp = temperatura; Cond. = condutividade elétrica; OD = oxigênio dissolvido; pH = potencial hidrogeniônico; un. = unidade.

Condição	Estação	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	OD (mg/L)	pH (un.)
Com pisc.	Seca	24,89 ± 1,42	91,01 ± 10,36	2,48 ± 1,22	6,48 ± 0,11
	Chuva	25,85 ± 1,69	85,80 ± 21,64	0,92 ± 1,13	6,43 ± 0,20
Sem pisc.	Seca	24,84 ± 1,35	90,38 ± 11,50	4,02 ± 2,05	6,67 ± 0,31
	Chuva	26,44 ± 1,72	82,53 ± 18,57	2,73 ± 2,21	6,55 ± 1,02
ANOVA dois fatores (GL = 95)					
Condição (P; F)		0,763; 0,0917	0,809; 0,059	<0,001; 26,3	0,476; 0,513
Estação (P; F)		0,023; 5,341	0,006; 7,907	<0,001; 21,848	0,003; 9,242
Interação (P; F)		0,867; 0,02 84	0,994; 0,0000614	0,767; 0,0886	0,982; 0,000489

O Fósforo total é influenciado tanto pela estação do ano quanto pela presença de piscicultura, sendo os valores maiores na estação chuvosa e em pontos com piscicultura (Tabela 1.6). A clorofila *a* é significativamente maior nos pontos em que havia piscicultura, mas não é influenciada pela estação do ano. Os valores de clorofila *a* variaram de 13-16 µg/L nos pontos com piscicultura e de 9-11 µg/L nos pontos sem piscicultura. O nitrogênio amoniacal total não sofreu um efeito da condição (com e sem piscicultura), mas foi influenciado pela estação do ano, sendo maior na estação seca (0,19-0,22 mg/L) que na estação chuvosa (0,10-0,13 mg/L).

Tabela 1.6. Parâmetros físico-químicos da água da superfície do lago de Palminhas monitorados mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. Estação seca - abril a setembro de 2011; estação chuvosa - fevereiro e março de 2011 e outubro de 2011 a janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012), de acordo com Incaper (2012). PT = fósforo total; OP = ortofosfato; Clo *a* = clorofila *a*; NAT = nitrogênio amoniacal total.

Condição	Estação	PT (mg/L)	OP (mg/L)	Clo <i>a</i> (µg/L)	NAT (mg/L)
Com pisc.	Seca	0,030 ± 0,015	0,014 ± 0,013	13,17 ± 9,07	0,22 ± 0,13
	Chuva	0,042 ± 0,021	0,009 ± 0,007	15,97 ± 5,56	0,19 ± 0,16
Sem pisc.	Seca	0,025 ± 0,011	0,011 ± 0,010	11,48 ± 8,29	0,22 ± 0,14
	Chuva	0,037 ± 0,021	0,010 ± 0,009	10,49 ± 7,04	0,17 ± 0,15
ANOVA dois fatores (GL = 95)					
Condição (P; F)		0,039; 4,406	0,199; 1,671	0,004; 8,65	0,235; 1,425
Estação (P; F)		<0,001; 13,842	0,110; 2,605	0,678; 0,173	0,001; 10,950
Interação (P; F)		0,906; 0,0139	0,483; 0,496	0,132; 2,313	0,930; 0,0077

Os valores observados para fósforo total no sedimento e matéria orgânica foram os constantes da Tabela 1.7.

Tabela 1.7. Mediana da matéria orgânica e fósforo do sedimento do lago de Palminhas monitorados *in situ* mensalmente, durante 1 ano, em pontos com a presença e ausência de piscicultura (n = 4 para cada situação). Estação seca - Abril a Setembro de 2011; estação chuvosa - Fevereiro e Março de 2011 e Outubro de 2011 a Janeiro de 2012, de acordo com Incaper (2012). Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre grupos em um dado período (Mann–Whitney - $P < 0.05$). Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os grupos (Mann–Whitney – $P < 0.05$).

Parâmetro	Controle		Piscicultura	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva
Matéria orgânica (%)	4.43 ^{aA}	1.60 ^{aA}	5.62 ^{aA}	6.49 ^{aA}
Fósforo Total (mg/L ¹)	0.111 ^{aA}	0.145 ^{aA}	0.248 ^{aA}	0.486 ^{aA}

DISCUSSÃO

Parâmetros limnológicos dos lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

O oxigênio dissolvido não apresentou uma marcada variação durante o ano nos 3 lagos analisados (entre 5-7 mg/L). Os valores médios de oxigênio dissolvido na superfície ficaram acima de 5 mg/L em todos os meses de amostragem nos 3 lagos. A exceção foi o lago Palminhas nos meses de maio e junho, onde a concentração de oxigênio dissolvido ficou entre 4,4 e 4,8 mg/L, respectivamente. Petrúcio *et al.* (2006) estudaram sete lagos do médio Rio Doce e observaram um padrão similar do obtido nos lagos do baixo Rio Doce, com as concentrações de oxigênio dissolvido entre 6-9 mg/L na superfície. Entretanto, nos lagos do médio Rio Doce existe uma marcada variação nas concentrações de oxigênio dentro das estações e entre as estações seca e chuvosa. Os lagos da Amazônia central utilizados para a criação de peixes apresentam um padrão diferente, com uma queda nas concentrações de oxigênio dissolvido no período chuvoso. Muitas vezes as concentrações desses lagos chegam próximo a 0 mg/L mesmo na superfície (Gomes *et al.*, 2006). Esses resultados mostram que o oxigênio dissolvido pode ser um limitante para a criação de peixes em alguns lagos, mas por outro lado, é uma variável que possibilita o desenvolvimento da atividade nos lagos do baixo Rio Doce.

Os lagos estudados são caracteristicamente monomíticos-quentes com início da desestratificação em maio, e exibindo condições isotérmicas entre julho e agosto e começando a estratificar novamente em setembro. No período de desestratificação a temperatura da água da superfície e do fundo apresentou uma variação inferior a 1°C, enquanto que no período estratificado essa diferença aumenta para 2°C. Esse padrão de estratificação é comumente encontrado em lago tropical (Wetzel, 2001) e,

entre outros, é observado em lagos no médio Rio Doce (Petrúcio *et al.*, 2006), na Amazônia (Silva *et al.*, 2010) e na África, como o lago Malawii (Branchu *et al.*, 2010). Esse padrão de estratificação podem ter influenciado no oxigênio dissolvido e no pH da água dos lagos estudados no presente trabalho.

Os valores médios de oxigênio dissolvido, profundidade do disco de Secchi, pH e fósforo total encontrados nos 3 lagos estudados estão de acordo com os valores obtidos em outros lagos/reservatórios utilizados para a criação de tilápia. O reservatório de Furnas no Sul do Brasil apresenta valores de fósforo total (0,17-0,44 mg/L) e profundidade do disco de Secchi (1,6-2,0 m) (Santos *et al.*, 2010) similares aos dos lagos estudados no presente trabalho. Em um reservatório no Sudeste do Brasil Leonardo *et al.* (2011) observaram valor médio de fósforo similar ao dos lagos, mas o pico de fósforo obtido na represa ($> 0,16$ mg/L) foi cerca de 4-8 vezes maior que o obtido em qualquer um dos lagos aqui estudados. Por outro lado, os valores de clorofila *a* da represa são similares aos obtidos em Palmas e Terra Alta e inferiores aos obtidos em Palminhas.

O primeiro registro de dados físico-químicos dos lagos Palmas e Palminhas foi realizado por Bozelli *et al.* (1992). O monitoramento atual realizado evidenciou que houve decréscimo da profundidade do disco de Secchi nos lagos Palminhas e Palmas nos últimos 20 anos, assim como um aumento dos valores de clorofila *a* em ambos os lagos. A profundidade do disco de Secchi do lago Palminhas é, atualmente, cerca de 4 vezes menor do que a medida por Bozelli *et al.* (1992) (8,3 m), enquanto que em Palmas a profundidade do disco de Secchi foi reduzida para a metade (de 8,0 metros em 1993 para 4 metros atualmente). O valor médio de clorofila *a* dobrou no lago de Palmas, passando de 0,76 para 1,65 $\mu\text{g/L}$. No lago de Palminhas o valor médio de clorofila *a* aumentou cerca de 20 vezes passando de

0,76 para 12 µg/L. Esse resultado mostra que os lagos Palmas e Palminhas (e provavelmente Terra Alta) vêm sofrendo um processo de eutrofização, sendo esse mais acentuado em Palminhas. Esse processo de eutrofização também vem ocorrendo no Lago Dom Helvécio no médio Rio Doce devido, principalmente, a ação antropogênica ao redor do lago, como recreação, e plantações (Maia-Barbosa *et al.*, 2010). Ao redor dos lagos estudados no presente trabalho também existem diversas outras atividades antropogênicas, como moradias, recreação, pastagens e plantações, o que permite inferir que essas atividades também estão contribuindo para o processo de eutrofização desses lagos. Essa hipótese é reforçada com os resultados obtidos no riacho de abastecimento do lago Palminhas. Os valores de fósforo do riacho são mais altos que os obtidos no interior dos lagos, mostrando com isso uma contribuição externa desse nutriente.

Índice de estado trófico dos lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

O nível trófico de um corpo d'água não é uma medida direta, ao passo que existem diversos métodos para avaliar a trofia de um corpo d'água, destacando-se o IET, objeto de estudos por diversos autores (Carlson, 1977; Salas e Martino, 1991; Toledo Junior *et al.*, 1983). O procedimento mais comum para determinação do estado trófico de corpos d'água foi proposto por Carlson (1977), porém este foi desenvolvido para os ambientes temperados. Nesse sentido, Toledo Junior *et al.* (1983) adaptou o modelo de Carlson para aplicação aos ambientes tropicais e subtropicais, sob o entendimento de que os modelos para lagos temperados não são aplicáveis à maioria dos corpos da água da região tropical por causa de diferenças fundamentais entre esses lagos. O modelo proposto por Toledo Junior *et al.* (1983), é um dos mais utilizados em ambientes tropicais (Affonso *et al.*, 2011; Dantas *et al.*,

2012; Maia-Barbosa *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2010; Sendacz *et al.*, 2006). Independente do modelo utilizado, o que se busca é transformar em um valor único um conceito multidimensional, que envolve todo o ciclo de nutrientes, produtividade da biota e morfometria do ambiente, facilitando a interpretação dos resultados.

Sabe-se que a aquicultura pode levar ao aumento dos níveis de nutrientes disponíveis, o que, por consequência, pode gerar distúrbios no ecossistema e alteração da dinâmica local (Degefu, 2011; Wetzel, 2001). Um desses distúrbios, cuja ocorrência tem se mostrado muito comum nos últimos anos, é a aceleração da eutrofização dos meios de cultivo, favorecendo a ocorrência de floração de algas, inclusive daquelas com potencial de produção de toxinas (Degefu *et al.*, 2011). A avaliação do IET em lagos/reservatórios utilizados para a criação de peixes em tanque-rede demonstra que esses ambientes normalmente são eutróficos, como alguns ambientes utilizados para a criação de tilápia na África (Degefu *et al.*, 2011), ou mesotrófico como uma represa, também utilizada utilizados para a criação de tilápia, no Sudeste do Brasil (Leonardo *et al.*, 2011). Os lagos estudados no presente trabalho são caracterizados como oligotrófico (Palmas) e mesotrófico (Palminhas e Terra Alta). A maior contribuição para o estado trófico do lago Palminhas foi a elevada concentração de clorofila *a* no ambiente, em conjunto com as concentrações do fósforo. Para o lago de Terra Alta o IET de clorofila *a* é baixo, mas por outro lado, o de fósforo é elevado. Apesar de apresentarem valores de IET final semelhantes, os lagos se comportaram de forma diferenciada quanto a contribuição de cada variável.

O lago Terra Alta é mais raso e a sua margem tem uma declividade menos acentuada do que o lago Palminhas, possibilitando a penetração de luz até o fundo, principalmente em sua margem. A biomassa de macrófita aquática submersa é

notadamente elevada nas margens desse lago, o que nos leva a acreditar que o fósforo existente na água é mobilizado pelas macrófitas aquáticas e não pelo fitoplâncton. Por outro lado, a elevada concentração de clorofila *a* encontrada no lago de Palminhas mostra que nesse lago o fósforo é, efetivamente, mobilizado pelo fitoplâncton, como sugerido por Behrenfeld e Boss (2006) e Offem *et al.* (2011).

Os corpos d'água oligotróficos, como o lago Palmas são considerados limpos e de baixa produtividade, em que não há interferências indesejáveis sobre os usos da água. No entanto, aqueles classificados como mesotróficos, como os lagos Palminhas e Terra Alta possuem produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis pelas autoridades ambientais na maioria dos casos. Os resultados indicam que os lagos Palminhas e Terra Alta necessitam ser monitorados com maior frequência, uma vez que o seu nível trófico inspira atenção das autoridades ambientais.

Distribuição de fósforo total e clorofila a nos Lagos Palminhas, Palmas e Terra Alta

A construção de mapas com a distribuição do fósforo e clorofila *a* é importante, pois permite ter uma visão espacial dos resultados obtidos. A partir dos mapas ficou evidente que em Palminhas o local com piscicultura instalada em uma das reentrâncias do lago apresentou maiores concentrações de fósforo e clorofila *a*. As pisciculturas instaladas nas áreas mais abertas do lago apresentaram concentrações mais baixas de fósforo e clorofila *a*. Em Palmas e Terra Alta ocorre uma situação bem mais homogênea ao longo dos lagos, sendo que em Palmas também se verifica uma concentração de fósforo maior próximo à piscicultura instalada.

Os mapas feitos no presente trabalho são uma importante ferramenta para auxiliar na determinação dos locais mais propícios para a instalação de empreendimentos aquícolas. As pisciculturas foram instaladas no lago utilizando como critério principal a posse da terra à sua margem (critério socioeconômico). A grande vantagem é o acesso facilitado por terra e também a possibilidade de ter uma infraestrutura de apoio próximo as criações. Entretanto, de acordo com Halide *et al.* (2009) a escolha do local apropriado para instalação de uma piscicultura deve levar em consideração critérios com pesos diferentes: 1) ambiental (qualidade da água e do substrato) – (50% do peso); 2) hidrometeorológico – (30% do peso) e 3) socioeconômico (10% do peso). Pelo fato de terem o formato menos dendrítico e uma distribuição homogênea de fósforo e clorofila *a*, a utilização do critério socioeconômico como sendo o de maior peso nos lagos Terra Alta e Palmas, em princípio, não teve um efeito totalmente negativo. Por outro lado, a utilização desse critério como principal em Palminhas foi um equívoco. Isso fica claro para a criação localizada em uma das reentrâncias desse lago que apresentam baixa circulação de água e com isso não conseguem dispersar o fósforo e a clorofila *a* (vide Figura 1.5). Com a ordenação da atividade nos lagos e levando em consideração os critérios propostos por Halide *et al.* (2009), seria interessante que as criações estivessem instaladas no centro-sul dos lagos. Essa proposta piora o critério socioeconômico, mas, por outro lado, melhora sensivelmente os critérios ambientais (melhor qualidade da água) e hidrometeorológicos (maior correnteza e maior profundidade), devendo ser adotados, apenas, os aspectos de segurança necessários para que não haja risco às estruturas dos tanques-rede em virtude da maior incidência de ventos. Além disso, é mais próximo ao canal de escoamento do lago, o que faria com que o tempo de permanência dos nutrientes adicionados pela piscicultura no lago

diminuísse. Esse fator é especialmente importante para melhoria ou manutenção do nível trófico dos lagos.

Impacto da piscicultura nos parâmetros limnológicos do lago Palminhas

É evidente que a estação (seca ou chuva) exerce influência sobre a qualidade de água do lago Palminhas, tendo-se observado diferenças em todos os parâmetros monitorados *in situ* (profundidade do disco de Secchi, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH), além do fósforo total e nitrogênio amoniacal total. No entanto, ao compararmos os dados relacionados à existência ou não de piscicultura, ocorreram diferenças para oxigênio dissolvido (superfície e fundo), pH (superfície), fósforo total e clorofila *a*. Suhet e Schocken-Iturrino (2013) também observaram efeito da estação e da presença de piscicultura na qualidade da água do lago Juara, que também é utilizado para a criação de tilápia no Espírito Santo. Além disso, estudos realizados em outros lagos tropicais utilizados para piscicultura mostram padrão similar com duas estações bem definidas: seca e chuva (Guo e Li, 2003; Gomes *et al.*, 2006; Degefu *et al.*, 2011).

O oxigênio dissolvido apresentou um padrão invertido entre a superfície e o fundo. Na superfície foram obtidas concentrações mais altas no período chuvoso, enquanto que no fundo as concentrações no período seco foram maiores. A principal explicação para esse resultado é a estratificação térmica do lago. No período chuvoso o lago está estratificado e o processo de oxidação da matéria orgânica do fundo consome o oxigênio dissolvido localizado; por outro lado, no período seco o lago desestratifica o que permite que a água do lago circule e aumente a concentração de oxigênio no fundo (Bozelli *et al.*, 1992; Gondwe *et al.*, 2012). Os locais com piscicultura apresentaram uma concentração de oxigênio dissolvido

menor que nos locais sem piscicultura, tanto na superfície como no fundo do lago. Esse padrão é amplamente observado em lagos e reservatórios utilizados para a criação de tilápia em tanque-rede (Degefu *et al.*, 2011; Suhel e Schocken-Iturrino, 2013). As principais razões para a menor concentração na superfície é o consumo direto por parte da biota, incluindo os peixes em criação, e o processo de decomposição da matéria orgânica em suspensão, como por exemplo, as sobras de ração e as fezes, que tendem a depositar-se no sedimento ou manter-se na forma coloidal nas áreas mais profundas do lago (Zanatta *et al.*, 2010). O fundo do lago nos locais com piscicultura apresentou menor concentração de oxigênio provavelmente devido a maior deposição de matéria orgânica, oriunda da criação, tendo sido esse padrão já observado em outros locais como no lago Malawi na África (Gondwe *et al.*, 2012).

O aumento na concentração de fósforo nos pontos com pisciculturas está relacionado com a inclusão desse nutriente via ração. Segundo Beveridge (2008), apenas cerca de 17,4 % do fósforo adicionado na ração é incorporado pela tilápia, sendo o restante disponibilizado no ambiente, principalmente, na água e no sedimento. Zanatta *et al.* (2010) e Guo e LI (2003) estudando outros lagos tropicais utilizados para a criação de peixes em tanque-rede também observaram um padrão no aumento do fósforo em locais com piscicultura.

A maior concentração de clorofila *a* nos pontos com piscicultura é comumente uma consequência da maior concentração de fósforo nesses locais, sendo esse padrão bem estabelecido em lagos com a presença de piscicultura (Beveridge, 2008; Guo e Li, 2003). Além disso, como discutido anteriormente, uma das pisciculturas do lago Palminhas está instalada em um meandro, o que dificulta a

circulação de água, mantendo os valores de fósforo elevados e favorecendo com isso a proliferação do fitoplâncton, o que aumenta a clorofila *a* na água.

As concentrações de fósforo na água nas proximidades das pisciculturas do lago Palminhas, especialmente a localizada em uma das reentrâncias do lago, estão no limite do permitido pela legislação Brasileira (0,03 mg/L para ambientes lênticos e 0,05 mg/L para ambientes lóticos – Resolução CONAMA nº. 357/2005) para corpos d'água Classe II. Esse resultado reforça a importância de se estabelecer uma localização mais adequada para a instalação das pisciculturas.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Como consequências da execução desse trabalho pode-se listar:

- 1) Em caráter provisório, o Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo, responsável pela outorga das criações, diminuiu a quantidade de pescado a ser produzida por cada piscicultura do lago Palminhas em 20% e está aguardando resultados de cálculo da capacidade de suporte dos 3 lagos para concessão de outorgas para a instalação de novas pisciculturas;
- 2) Uma piscicultura notadamente instalada em local de baixa qualidade da água no lago Palminhas (reentrância), e que já enfrentava dificuldades em comercializar o pescado produzido por problemas relacionados a “*off flavor*” mudou-se no meio de 2012 para o lago das Palmas, com consentimento do Instituto Estadual do Meio Ambiente do Espírito Santo.

Com as medidas acima, o volume de pescado produzido no lago Palminhas foi reduzido, neste período, em cerca de 40%, sendo esperada então uma diminuição na concentração de fósforo no lago.

Como perspectivas da execução desse trabalho pode-se listar:

- 1) Os resultados de algumas variáveis limnológicas obtidas servirão para alimentar um modelo matemático para estimar a capacidade de suporte dos 3 lagos estudados;
- 2) Ajuste e/ou concessão de novas licenças e outorgas para a criação de peixes nos lagos estudados terão como base a capacidade de suporte do ambiente calculada e não estimada como é feita atualmente;

3) A execução da piscicultura na região de forma ambientalmente sustentável, economicamente viável e socialmente aceitável, sem geração de conflitos com a população do entorno.

AGRADECIMENTOS

Trabalho financiado pela Associação de Aquicultores de Linhares (Aqualin) e pelo CNPq, processos # 562079/2010-6 e 485011/2011-5, realizado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica (UVV, SEAG, IEMA, UFES, Aqualin) nº. 005/2011. LC Gomes é bolsista de produtividade científica do CNPq.

REFERÊNCIAS

Affonso, AG; Barbosa, C; Novo, EMLM. Water quality changes in floodplain lakes as a function of the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará). *Brazilian Journal of Biology* 2011; 71-3: 601-10.

APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington; 1998.

Behrenfeld, MJ; Boss, E. Beam Attenuation and Chlorophyll Concentration as Alternative Optical Indices of Phytoplankton Biomass. *Journal of Marine Research* 2006; 64:431-51.

Beveridge, M. Cage Aquaculture. 3rd edition, John Wiley e Sons; 2008.

Bozelli, RL; Esteves, FA; Roland, F; Suzuki, MS. Padrões de funcionamento das lagoas do baixo Rio Doce: variáveis abióticas e Clorofila-a (Espírito Santo – Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 1992; IV:13-31.

Branchu, P; Bergonzini, L; Pons-Bronchu, E; Violier, E; Dittrich, M; Massault, M; *et al.* Lake Malawi sediment and pore water chemistry: Proposition of a conceptual model for stratification intensification since the end of the Little Ice Age. *Global and Planetary Change* 2010;72:321–30.

Carlson, RE. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography* 1977; 22(2):361-69.

Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2013.

Dantas, EW; Bittencourt-Oliveira, MC; Moura, AN. Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. *Limnologica* 2012;42:72-80.

Degefu, F; Mengistu, S; Schagerl, M. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. *Aquaculture* 2011; 316:129-35.

Esteves, FA; Suzuki, MS; Callisto, MFP; Peres-Neto, PR. Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e feopigmentos no sedimento de alguns ecossistemas lacustres do litoral do estado do Espírito Santo. UFRJ – Rio de Janeiro. *Oecologia brasiliensis* 1995; 1:407-17.

Esteves, FA. *Fundamentos de Limnologia*. 2011. 3rd ed. Interciências, Rio de Janeiro, Brasil.

Gomes, LC; Chagas, EC; Martins-Junior, H; Roubach, R; Ono, EA; Lourenço, JNP. Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. *Aquaculture* 2006; 253(1-4):374-84.

Gondwe, MJ; Guildford, SJ; Hecky, RE. Tracing the flux of aquaculture-derived organic wastes in the southeast arm of Lake Malawi using carbon and nitrogen stable isotopes. *Aquaculture* 2012; 350-353:8-18.

Guo, L; Li, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. *Aquaculture, Amsterdam* 2003; 226(1-4):201-12.

Guo, L; Li, Z; Xie, P; Ni, L. Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallowing in a shallow lake in China. *Aquaculture International (Springer Netherlands)* 2009; 17:219-41.

Halide, H; Stigebrandt, A; Rehbein, M; McKinnon, AD. Developing a decision support system for sustainable cage aquaculture. *Environmental Modelling e Software* 2009; 24:694-702.

Incaper – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Meteorologia e Recursos Hídricos: Série Histórica. Disponível em: <<http://www.incaper.es.gov.br>>. Último acesso: 31 de Dezembro de 2012.

Leonardo, AF; Corrêa, CF; Baccharin, AE. Qualidade da água de um reservatório submetido à criação de tilápias em tanques-rede, no sul de São Paulo, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo 2011; 37(4):341-54.

Lovshin, LL. Tilapia culture in Brazil. In: B.A. Costa-Pierce and J. E. Rakocy eds. Tilapia Aquaculture in the Americas. Baton Rouge, Louisiana, United States: The World Aquaculture Society 2000; 2:133-40.

Maia-Barbosa, PM; Barbosa, LG; Brito, SL; Garcia, F; Barros, CFA; Souza, MBG; *et al.* Limnological changes in Dom Helvécio Lake (South-East Brazil): natural and anthropogenic causes. Brazilian of Journal Biology 2010; 70(3):795-802.

Offem, BO; Ayotunde, EO; Ikpi, GU; Ada, FB; Ochang, SN. Plankton-Based Assessment of the Trophic State of Three Tropical Lakes. Journal of Environmental Protection 2011; 2:304-15

Petrúcio, MM; Barbosa, FAR; Furtado, ALS. Bacterioplankton and phytoplankton production in seven lakes in the Middle Rio Doce basin, south-east Brazil. Limnologica 2006; 36:192-203.

Russell, M; Robinson, CD; Walsham, P; Webster, L; Moffat, CF. Persistent organic pollutants and trace metals in sediments close to Scottish marine fish farms. Aquaculture 2011; 319:262-71.

Salas, HJ; Martino, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research* 1991; 25:341-50.

Santos, RM; Negreiros, NF; Silva, LC; Rocha, O; Santos-Wisniewski, MJ. Biomass and production of Cladocera in Furnas Reservoir, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 2010; 70(3):879-87.

Sendacz, S; Caleffi, S; Santos-Soares, J. Zooplankton biomass of reservoirs in different trophic conditions in the state of São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 2006; 66(1(B)):337-50.

Silva, IG; Moura, AN; Dantas, EW; Bittencourt-Oliveira, MC. Structure and dynamics of phytoplankton in an Amazon lake, Brazil. *Revista de Biologia Tropical* 2010; 58(4): 1421-36.

Søndergaard, M; Larsen, SE; Jørgensen, TB; Jeppesen, EJ. Using chlorophyll a and cyanobacteria in the ecological classification of lakes. *Ecological Indicators* 2011; 11(5):1403-12.

Suhet, MI; Schocken-Iturrino, RP. Physical and chemical water parameters and *Streptococcus* spp. occurrence in intensive tilapia farming in the State of Espírito Santo, Brazil. *Acta Scientiarum* 2013; 35(1):29-35.

Toledo Junior, AP, Talarico, M, Chinez, SS; Agudo, EG. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios

tropicais. In XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 1983; Cetesb, Camboriú: 1-34.

Watanabe, WO; Losordo, TM; Fitzsimmons, K; Hanley, F. Tilapia production systems in the Americas: technological advances, trends, and challenges. *Reviews in Fisheries Science* 2002; 10:465–98.

Wetzel, RG; Likens, GE. *Limnological Analyses*. 3rd ed. Springer-Verlag, New York: New York Inc; 2000.

Wetzel, RG. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd ed., Elsevier Academic Press; 2001.

Xu, FL; Wang, JJ; Chen, B; Qin, N; Wu, WJ; He, W; *et al*. The variations of exergies and structural exergies along eutrophication gradients in Chinese and Italian lakes. *Ecological Modelling* 2009; 222:337-50.

Zanatta, AS; Perbiche-Neves, G; Ventura, R; Ramos, IP; Carvalho, ED. Effects of a small fish cage farm on zooplankton assemblages (*Cladocera and Copepoda: Crustacea*) in a sub-tropical reservoir (SE Brazil). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 2010; 5(4):530-39.

CAPÍTULO 2

RESUMO

VENTUROTI, Graciele Petarli, M.Sc. Vila Velha University – ES; february, 2013. **Dispersão de fósforo, nitrogênio amoniacal total e clorofila a oriundos de pisciculturas em tanques-rede em um lago do norte do espírito santo, Brasil.** Advisor: Dr. Levy de Carvalho Gomes.

A criação de peixes em tanque-rede em lagos naturais e artificiais aumentou consideravelmente nos últimos anos no Brasil, havendo experiências bem sucedidas em todas as regiões do País, e a principal espécie utilizada para criação nesse sistema no Brasil é a tilápia do Nilo. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a dispersão de poluentes oriundos das pisciculturas existentes no lago Palminhas, localizada no município de Linhares/ES, Brasil, avaliando os potenciais efeitos desta, através do monitoramento dos parâmetros fósforo total, nitrogênio amoniacal total e clorofila *a*, além das variáveis oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico, durante seis meses – três na estação seca e três na estação chuvosa. Os resultados obtidos evidenciaram que a dispersão e a diluição dos poluentes monitorados não apresenta alta eficiência na distância de até 500 metros a partir das pisciculturas, além de ocorrer de forma diferenciada entre os cultivos, indicando que a localização das pisciculturas no lago é fundamental para assegurar as melhores condições de mistura, já que a piscicultura localizada em um dos meandros do lago foi a que apresentou os resultados mais negativos, com maior concentração de fósforo total e clorofila *a* em seu interior. Notou-se também que existe possível interferência da piscicultura 3 na piscicultura 4 para o parâmetro fósforo total e que, durante o período da seca ocorreu dispersão de nitrogênio amoniacal total na piscicultura 2 no sentido jusante – montante, indicando que o fluxo de água ou era nulo ou foi temporariamente invertido. Os resultados deste trabalho demonstram que o lago Palminhas trata-se de um ambiente impactado e poderão subsidiar as avaliações ambientais de pisciculturas em tanques-rede na região, trazendo instrumentos que servirão de suporte ao controle ambiental da atividade.

PALAVRAS-CHAVE: diluição, mistura, tilápia, qualidade da água.

ABSTRACT

VENTUROTÍ, Graciele Petarli, M.Sc. Vila Velha University – ES; february, 2013. **Dispersion of phosphorus, total ammonia nitrogen and chlorophyll a from fish cages in a lake in northern Espírito Santo, Brazil.** Advisor: Dr. Levy de Carvalho Gomes.

Fish farming in cages in natural and artificial lakes has increased considerably in recent years in Brazil, with successful experiences in all regions of the country, and the most used species to aquaculture in Brazil is the Nile tilapia. The aim of this study was to characterize the dispersion of pollutants from the existing fish farms in the lake Palminhas, located in Linhares / ES, Brazil, assessing the potential effects of aquaculture by monitoring the parameters total phosphorus, total ammonia nitrogen and chlorophyll a, and the variables dissolved oxygen, temperature, electrical conductivity and hydrogen potential for six months - three in the dry season and three in the rainy season. The results showed that the dispersion and dilution of monitored pollutants are not so efficient over a distance of up to 500 meters from fish farms, and occur differently among cultures, indicating that the location of fish farms in the lake is critical to ensure the best mixing conditions, since fish farming located on a meander of the lake was the one with the worst results, with the highest concentration of total phosphorus and chlorophyll a in its interior. It was also noted that there is possible interference of the fish farm 3 in fish farm 4 for the parameter total phosphorus and, during the dry season, the dispersion of total ammonia nitrogen in fish farm 2 has occurred downstream - upstream, indicating that water flux was either null or is temporarily reversed. The results of this study demonstrate that the lake Palminhas is an impacted environment and may subsidize environmental assessments of fish farming in cages in the region, bringing instruments that will support environmental control activity.

KEYWORDS: dilution, moisture, tilapia, water quality.

INTRODUÇÃO

A criação de peixes em tanque-rede em lagos naturais e artificiais tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (Beveridge, 2008). Existem experiências em diversas regiões tropicais, incluindo lagos naturais como os da Amazônia (Gomes *et al.*, 2006) e da África (Degefu *et al.*, 2011; Offem *et al.*, 2011) e artificiais como os grandes reservatórios do Nordeste (Oliveira *et al.*, 2012) e do Sul-Sudeste do Brasil (Santos *et al.*, 2009) e da África (Nyanti *et al.*, 2012). A principal espécie utilizada para criação nesse sistema nos trópicos é a tilápia do Nilo (Arthur *et al.*, 2010, Contel *et al.*, 2008).

Assim como em outras atividades produtivas, a criação de peixes em tanque-rede em lagos naturais pode ter impactos ambientais negativos, que devem ser mantidos nos limites admissíveis. O principal impacto da atividade é o acréscimo de nutrientes na água, o que contribui para o processo de eutrofização, sendo que os principais nutrientes disponibilizados no ambiente são o fósforo e o nitrogênio, principalmente na forma de nitrogênio amoniacal (Boyd, 2003; True *et al.*, 2004). Esses compostos são adicionados no sistema a partir da ração e a sua absorção por parte dos peixes é baixa, o que faz com que a maior parte seja disponibilizada no ambiente (Guo e Li, 2003; Santos *et al.*, 2010). De acordo com Beveridge (2008) a retenção de nitrogênio pela tilápia do Nilo é de apenas 23% e a de fósforo de 17,5% do total oferecido.

O Espírito Santo possui um polo produtor de tilápia, localizado em 5 dos 69 lagos e lagoas do baixo Rio Doce, sendo que o lago Palminhas é o que tem o maior número de criações em operação, com 4 fazendas de cultivo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi monitorar a dispersão e a diluição da concentração de

fósforo total, clorofila *a* e nitrogênio amoniacal total, nos períodos de seca e chuva, a partir de cada piscicultura existente no lago Palminhas avaliando o comportamento destes poluentes na região de entorno das pisciculturas e correlacionando os efeitos com as condições ambientais e meteorológicas do período.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O lago Palminhas (Figura 2.1) faz parte do complexo lagunar do baixo Rio Doce, podendo ser localizado pelas coordenadas geográficas 19°25'31''S e 40°14'58''O. O lago se encontra numa região caracterizada pela formação Barreiras, possuindo formato dendrítico, com inúmeras reentrâncias (Esteves *et al.*, 1995), e é abastecido por um tributário principal, de maior fluxo, e vários outros menores, decorrentes de nascentes próximas, além do abastecimento pela água de chuva. A saída de água é feita por um canal de escoamento que se encontra com o Ribeirão Palmas e segue para o Rio Doce.

O lago possui cerca de 800 ha de área total e profundidade máxima de cerca de 24 metros, sendo amplamente utilizado para pesca artesanal, além da criação de peixes em tanque-rede. Bozelli *et al.* (1992) descrevem que naquele ano a margem do lago contava com grande proporção de floresta nativa. Entretanto, a ocupação das margens do lago sofreu alterações ao longo dos últimos 20 anos, e atualmente se dá por algumas residências e áreas de lazer de uso individual e coletivo, pastagens, silvicultura/heveicultura e plantações de café e banana, com pequena porção de vegetação florestal nativa ainda preservada. O lago palminhas possui quatro pisciculturas instaladas (P1 a P4), todas com criação de tilápia em tanque-rede (Figura 2.1).

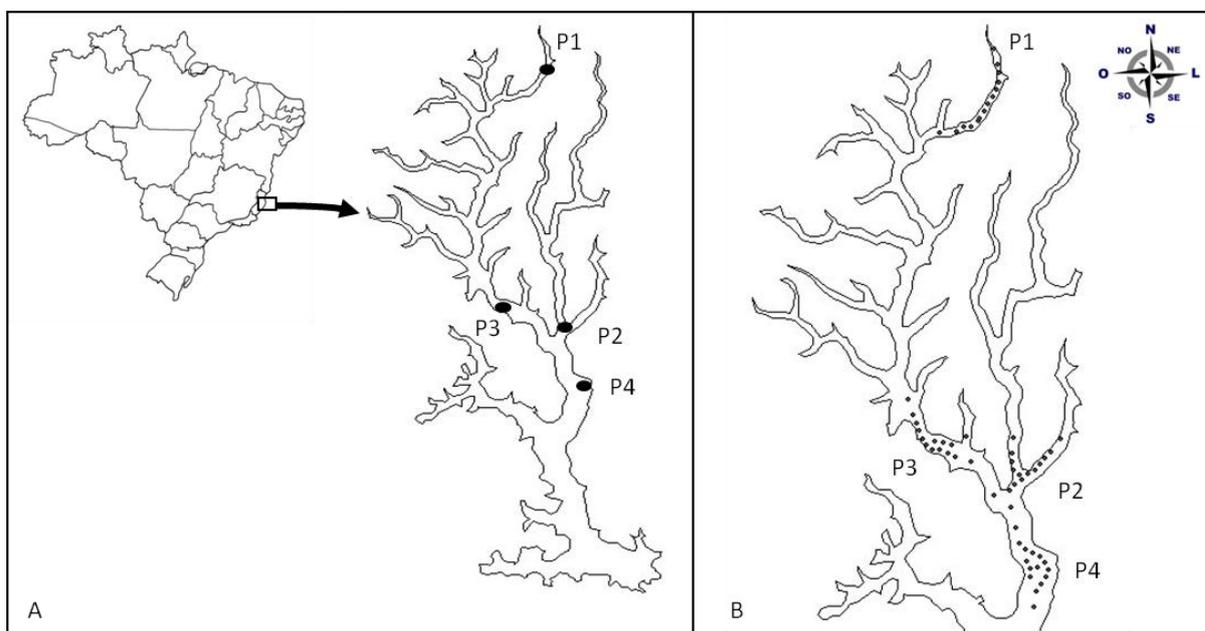


Figura 2.1. Área de Estudo evidenciando o lago Palminhas (A) com a localização aproximada das pisciculturas monitoradas (P1, P2, P3 e P4), representadas pelos pontos pretos, e um detalhe dos transectos aplicados em cada piscicultura estudada (B).

Coletas e análises

Foram realizadas 6 coletas mensais, sendo três no período seco e três no período chuvoso. Para definição dos meses de coleta, foram adotados como referência os dados de pluviosidade média mensal entre os anos de 1976 e 2011, coletados na estação meteorológica de Linhares localizada no raio de 50 quilômetros dos lagos amostrados (Incaper, 2012). Assim, foram considerados como estação chuvosa os meses de novembro e dezembro de 2011 e janeiro de 2012, e estação seca os meses de junho, julho e setembro de 2012. O mês de agosto, embora componha o período seco, apresentou, no ano de 2012, altos índices de precipitação, sendo desconsiderado para este trabalho, adiando-se a coleta para setembro.

Em cada piscicultura foram marcados três pontos iniciais, equidistantes entre si, localizados no interior do polígono demarcado para cada cultivo. A partir desses pontos foram traçados transectos com novas marcações, nas distâncias de 100, 200, 300 e 500 metros do ponto inicial. A direção desses transectos respeitou a geografia local, de modo a abranger ao máximo a região de entorno das fazendas de cultivo (Figura 2.1). Para as pisciculturas 1 e 2 houve necessidade de ajuste no quantitativo de pontos, em virtude de sua distribuição geográfica: para a piscicultura 1, um dos transectos teve apenas as distâncias de 100 (com duas marcações) e 200 metros e ficou alocado totalmente no interior da piscicultura; e para a piscicultura 2 foram marcados dois pontos com 500 metros em um dos transectos. Para a piscicultura 4 foi necessário, em um dos transectos, alocar dois pontos a 300 metros, direcionados um para cada lado, não alocando o ponto a 500 metros.

Em cada ponto marcado foi feita uma amostragem de água subsuperficial (a cerca de 1,0 m de profundidade) e de fundo (a 1,0 m acima do sedimento) para análise *in situ* de oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica com auxílio de um aparelho multiparâmetro (YSI Professional Plus); e, em laboratório, de fósforo total, nitrogênio amoniacal total e clorofila *a*. Para as análises laboratoriais, as amostras de água foram coletadas com o auxílio de uma garrafa de Van Dorn. Também foi coletado sedimento, em triplicata, com auxílio de uma draga do tipo Petersen para análise de matéria orgânica

O fósforo total foi analisado pelo método do ácido ascórbico, a clorofila *a*, pelo método de extração por acetona, e o nitrogênio amoniacal total, pelo método do fenato (indofenol). Todas as leituras foram feitas em espectrofotômetro. Também foi realizado um teste com um padrão rastreável Nirst para aferir a precisão dos resultados de Fósforo Total (CV do resultado esperado < 10%). A metodologia de

preparo de vidrarias para coleta e armazenamento da água e sua análise seguiu rigorosamente os métodos descritos em APHA (1998). A matéria orgânica do sedimento foi mensurada pelo método de oxidação por peróxido de hidrogênio.

Foram efetuadas medições de profundidade e de velocidade da corrente de água em cada piscicultura, sendo a profundidade medida com uma sonda digital (Hondex™) e a corrente medida com um medidor de corrente digital (Flowatch®), além de profundidade do disco de Secchi para mensurar a transparência. Foi coletada uma amostra do sedimento no ponto central de cada piscicultura para análise do fósforo total. Também foram identificadas as capacidades de produção das pisciculturas, o volume útil total das unidades de cultivo e a conversão alimentar média observada durante o período de monitoramento, estando os valores na Tabela 2.1.

Foram realizadas medições de temperatura e concentração de oxigênio dissolvido num ponto central das 4 pisciculturas ao longo de um transecto vertical, nas profundidades 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 8,0; 10,0; 15,0 e 20,0 metros, para evidenciar a gradação destes dois parâmetros na medida em que o lago se torna mais profundo. E para a análise dos resultados, foi feita uma média entre os valores obtidos durante os três meses do período seco e os três meses do período chuvoso monitorado.

Mapeamento dos dados

Os valores médios obtidos para as estações monitoradas foram compilados e inseridos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) – através do aplicativo ArcGis –, previamente alimentado com uma imagem obtida do Ortofotomosaico do Espírito Santo, disponibilizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos

Hídricos. O Ortofotomosaico é um produto cartográfico digital de escala 1:15.000 PEC "A"1, de resolução espacial de 1m, elaborado a partir de um Levantamento Aerofotogramétrico na escala 1:35.000 realizado em junho de 2007 sobre a região sul e maio/junho de 2008 sobre a região norte do estado. O Ortofotomosaico é formado pela articulação de cerca de 540 blocos de imagens de 10x10km. Para produção dos mapas foi realizada a digitalização da imagem dos lagos estudados e utilizada a função de interpolação de dados existente na ferramenta ArcMap.

Análises estatísticas

Todos os dados obtidos para o lago Palminhas foram submetidos a um teste de normalidade. Como os valores não apresentaram distribuição normal, mesmo após transformações, foram aplicados os testes de Kruskal-Wallis (Anova on Ranks) e de Dunn ($p < 0,05$), individualmente para cada piscicultura, considerando como variáveis os pontos (distâncias) dos transectos de cada uma.

Posteriormente os dados dos transectos de cada piscicultura foram agrupados, sem distinção de ponto ou distância, a fim de comparar uma piscicultura contra a outra, considerando separadamente estação do ano (seca VS chuvosa) e piscicultura VS piscicultura.

RESULTADOS

As áreas onde se encontram as pisciculturas foram estudadas para caracterização de aspectos geográficos e produtivos relevantes à análise dos resultados obtidos em monitoramento. Assim, estão indicados na tabela 2.1 os dados relativos a profundidades e correntes mínimas e máximas observadas, o volume total de tanques-rede operacional no período de monitoramento, a produção obtida durante o ano e a conversão alimentar observada. Além disso, foram inseridos nesta tabela os valores referentes ao monitoramento de fósforo total no sedimento, sendo que não houve indicação de diferença estatística significativa entre eles, ao compararmos as pisciculturas por meio de Anova on Ranks ($p = 0,144$ para estação seca; $p = 0,677$ para estação chuvosa), e os menores resultados foram encontrados no período chuvoso enquanto os maiores foram observados no período seco.

Tabela 2.1. Valores observados em relação às pisciculturas monitoradas no lago Palminhas. Pisc = Piscicultura; VTUC = Volume Total das unidades de cultivo, sendo o volume útil total dos tanques-rede de cada piscicultura; CA = Conversão Alimentar; PTS = Fósforo Total no sedimento.

Pisc	Profundidade (m)	Corrente (m/s)	VTUC (m ³)	Produção (Ton/ano)	CA	PTS (mg/L)
	Mín - Máx	Mín - Max				Mín - Máx
P1	7,5 – 11,8	0 – 0,16	540	132	1,65	0,29 – 5,95
P2	15,5 – 19,2	0 – 0,57	1.176	288	1,52	0,06 – 2,57
P3	15,4 – 18,15	0 – 0,71	900	118	1,60	0,03 – 1,78
P4	18,0 – 21,3	0 – 0,40	664	170	1,55	0,01 – 0,57

Água subsuperficial

A concentração de fósforo total na água coletada em subsuperfície foi maior no período seco em todas as pisciculturas (Figura 2.2 e tabela I.1 do Anexo). Esse mesmo padrão foi observado para a clorofila a nas pisciculturas P1 e P4. O nitrogênio amoniacal total foi maior no período seco em todas as pisciculturas, menos na P1 onde os valores foram maiores no período chuvoso. No entanto, não foi observada diferença significativa ao longo dos transectos para nenhuma variável estudada em nenhuma piscicultura.

Os resultados de oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica no período seco e chuvoso estão descritos na Figura 2.3 e tabelas I.2 e I.3 do Anexo. O Oxigênio dissolvido variou de cerca de 6 mg/L no período chuvoso para 8-9 mg/L no período seco na P1, enquanto nas demais pisciculturas a variação de cerca de 6 mg/L no período chuvoso e 7,5 mg/L no período seco. A temperatura média foi de 25°C no período seco e de 29°C no período chuvoso em todas as pisciculturas. O pH foi ligeiramente maior no período seco quando comparado ao período chuvoso. Contudo, a variação foi de no máximo 1 unidade de pH. O menor valor obtido foi 6,76 no período seco e maior 7,87 no período chuvoso.

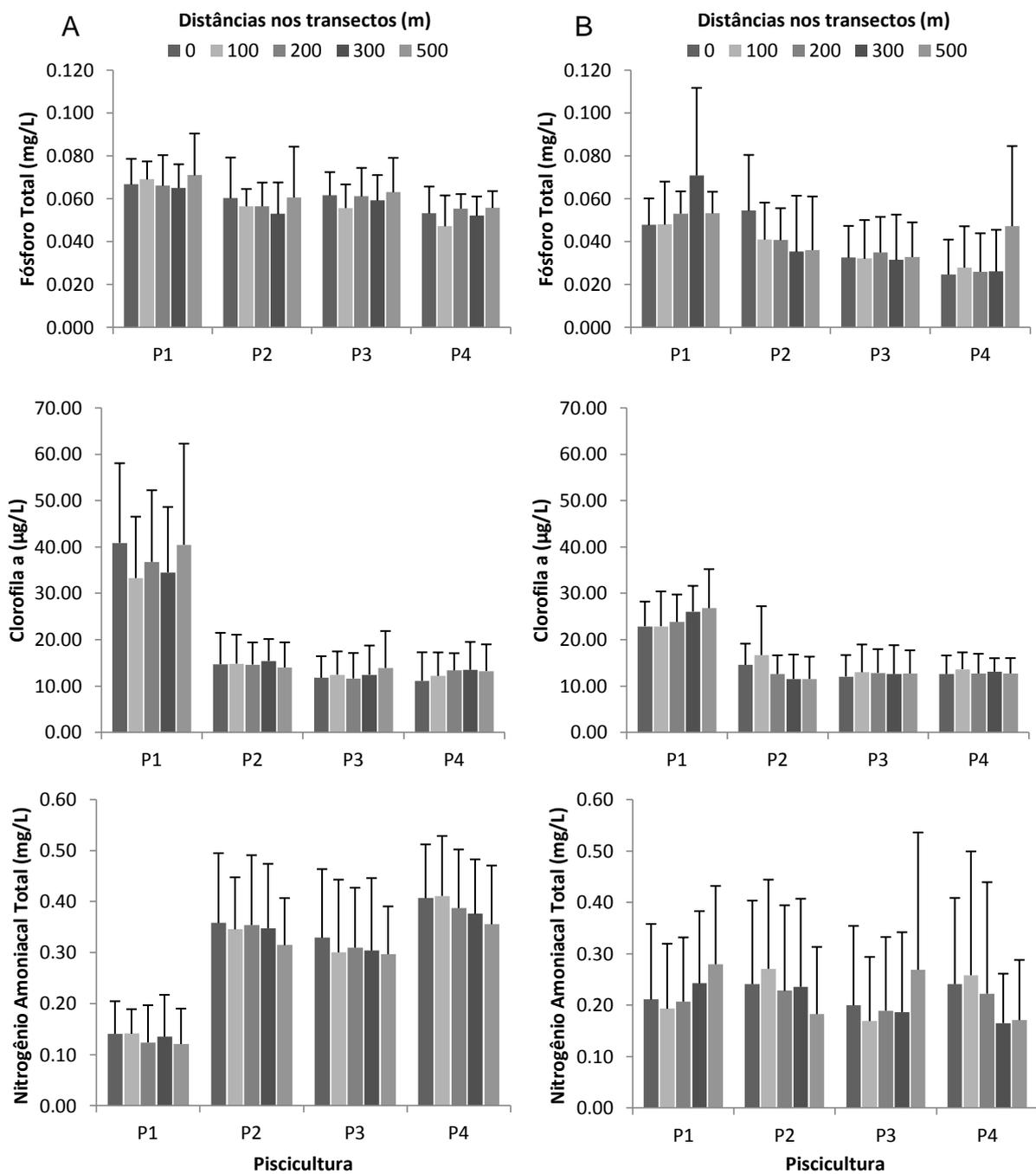


Figura 2.2. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água subsuperficial realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Nitrogênio Amoniacal Total. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.

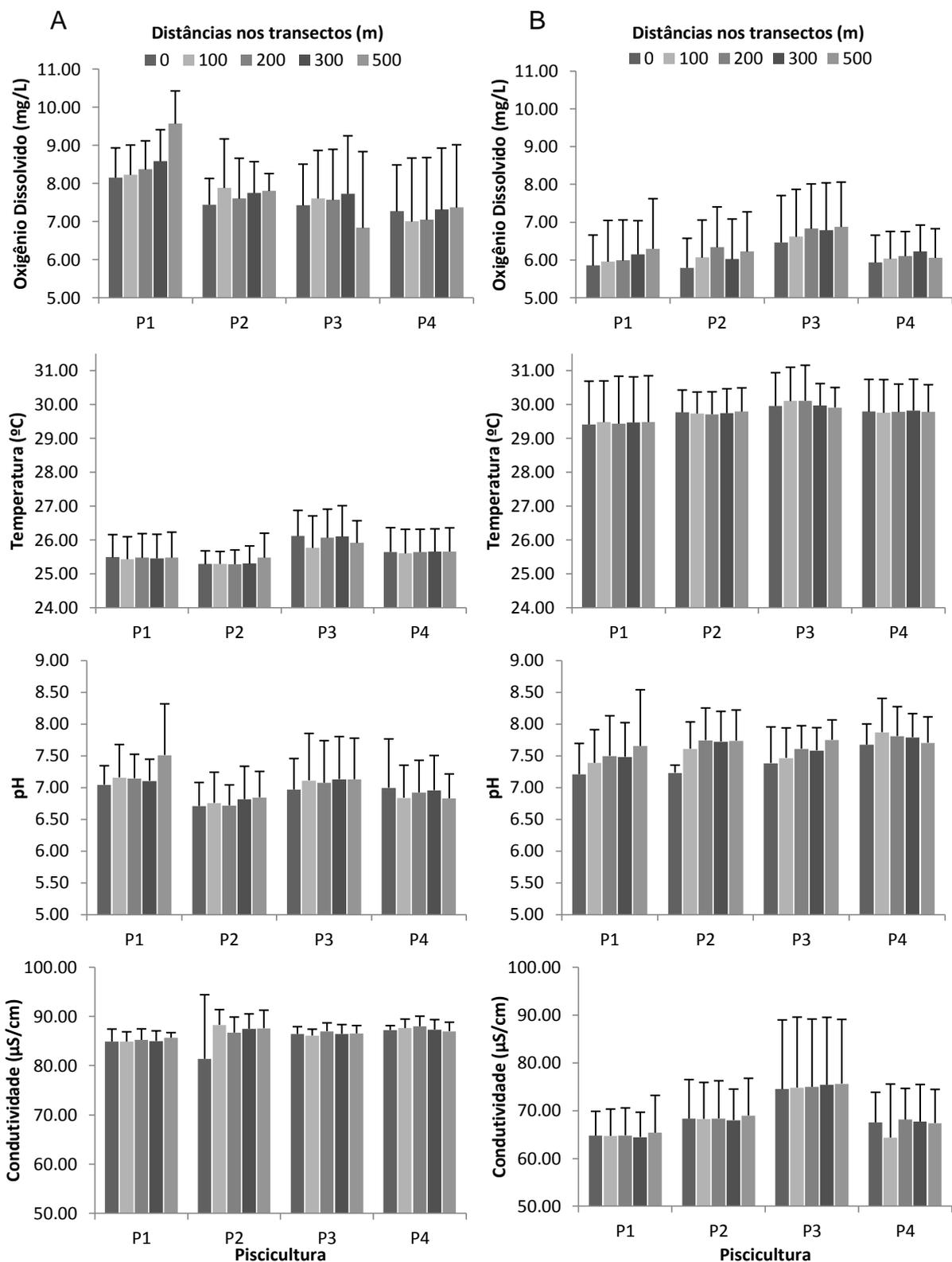


Figura 2.3. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água subsuperficial realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.

Ao comparar as pisciculturas, todas as variáveis estudadas apresentaram um comportamento não paramétrico, sendo os resultados apresentados como mediana. O fósforo total é significativamente maior na piscicultura P1 quando comparado a P4 em ambas as estações (Figura 2.2). As pisciculturas P2 e P3, de forma geral apresentam valores de fósforo total similar às demais, a exceção é P2 na seca onde o fósforo total foi menor do que em P1. A clorofila *a* na piscicultura P4 foi significativamente maior que a das demais pisciculturas nas duas estações, apresentando valores duas ou três vezes maiores que as demais pisciculturas. A concentração de nitrogênio amoniacal foi significativamente mais alta na piscicultura P4 quando comparado a P1 na estação seca. Na estação chuvosa a concentração de nitrogênio amoniacal foi similar entre as pisciculturas. O oxigênio dissolvido foi significativamente mais alto na piscicultura P1 nas duas estações, enquanto as temperaturas registradas foram as mais baixas entre as quatro pisciculturas. A piscicultura P3 tem a temperatura significativamente mais alta nas estações seca (25,65°C) e chuvosa (29,95°C). Na estação seca o pH e a condutividade elétrica foram significativamente mais altos na piscicultura P1. Na estação chuvosa o pH foi maior na piscicultura P1 e a condutividade elétrica na piscicultura P3.

Tabela 2.2. Medianas obtidas no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros fósforo total (PT), clorofila a (Clor.a), nitrogênio amoniacal total (NAT), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (Temp), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE), no monitoramento de água subsuperficial, além de resultados do teste estatístico realizado por meio de Anova on Ranks e pelo teste de Dunn.

ESTAÇÃO SECA							
Piscicultura	PT (mg/L)	Clor. a (µg/L)	NAT (mg/L)	OD (mg/L)	Temp (°C)	pH (unidade)	CE (µS/cm)
P1	0,068 ^a	39,27 ^a	0,142 ^a	8,44 ^a	25,12 ^b	6,99 ^a	86,0 ^a
P2	0,058 ^b	15,47 ^b	0,332 ^{bc}	7,92 ^b	25,17 ^b	6,63 ^b	86,5 ^b
P3	0,056 ^{ab}	11,9 ^b	0,281 ^c	7,66 ^b	25,65 ^a	6,83 ^{ac}	87,0 ^b
P4	0,057 ^b	11,9 ^b	0,360 ^b	6,92 ^b	25,33 ^b	6,67 ^{bc}	87,0 ^b
ESTAÇÃO CHUVOSA							
Piscicultura	PT (mg/L)	Clor. a (µg/L)	NAT (mg/L)	OD (mg/L)	Temp (°C)	pH (unidade)	CE (µS/cm)
P1	0,047 ^a	25,59 ^a	0,214 ^a	6,00 ^a	29,10 ^a	7,27 ^a	66,7 ^a
P2	0,048 ^{ac}	13,09 ^b	0,218 ^a	5,66 ^b	29,90 ^{ab}	7,49 ^{ab}	70,9 ^{bc}
P3	0,035 ^{bc}	13,09 ^b	0,209 ^a	6,96 ^a	29,95 ^b	7,56 ^{ab}	73,2 ^b
P4	0,025 ^b	14,28 ^b	0,164 ^a	5,96 ^b	29,90 ^{ab}	7,87 ^b	69,5 ^{ac}

Os valores médios obtidos nas estações (seca e chuvosa) para os parâmetros clorofila a, fósforo total e nitrogênio amoniacal total, ao longo do transecto, foram inseridos em um Sistema de Informações Geográficas, sendo produzidos mapas que demonstram o comportamento destes parâmetros e sugerem como se dá sua dispersão ao longo do lago Palminhas. As figuras 2.4, 2.5 e 2.6 apresentam os mapas gerados com a indicação dos pontos de coleta. As escalas de cor adotadas foram mantidas para cada grupo de imagens.

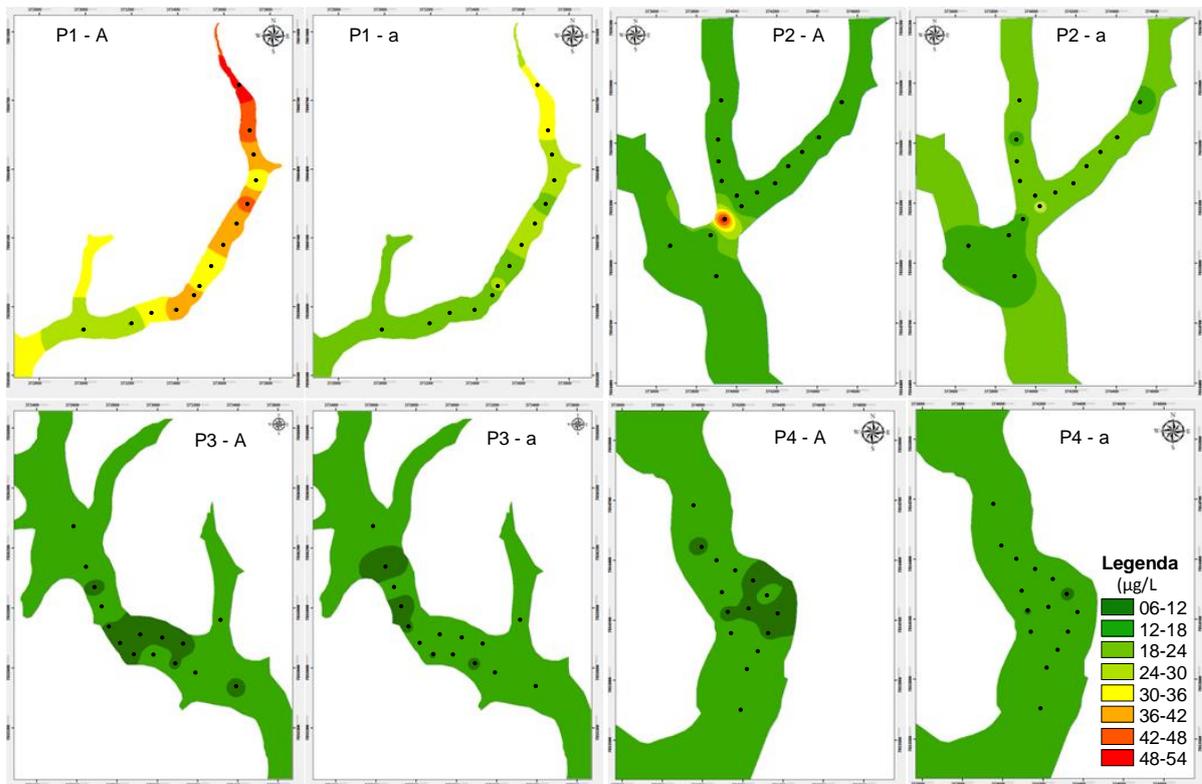


Figura 2.4. Mapas que ilustram a condição de dispersão e concentração do parâmetro clorofila *a* ao longo dos transectos realizado nas pisciculturas (P1 a P4) instaladas no lago Palminhas, sendo Letras maiúsculas para estação “Seca” e letras minúsculas para estação “Chuvosa”. Os valores expostos na legenda estão fixados como µg/L e os pontos ao longo das imagens representam os locais de coleta.

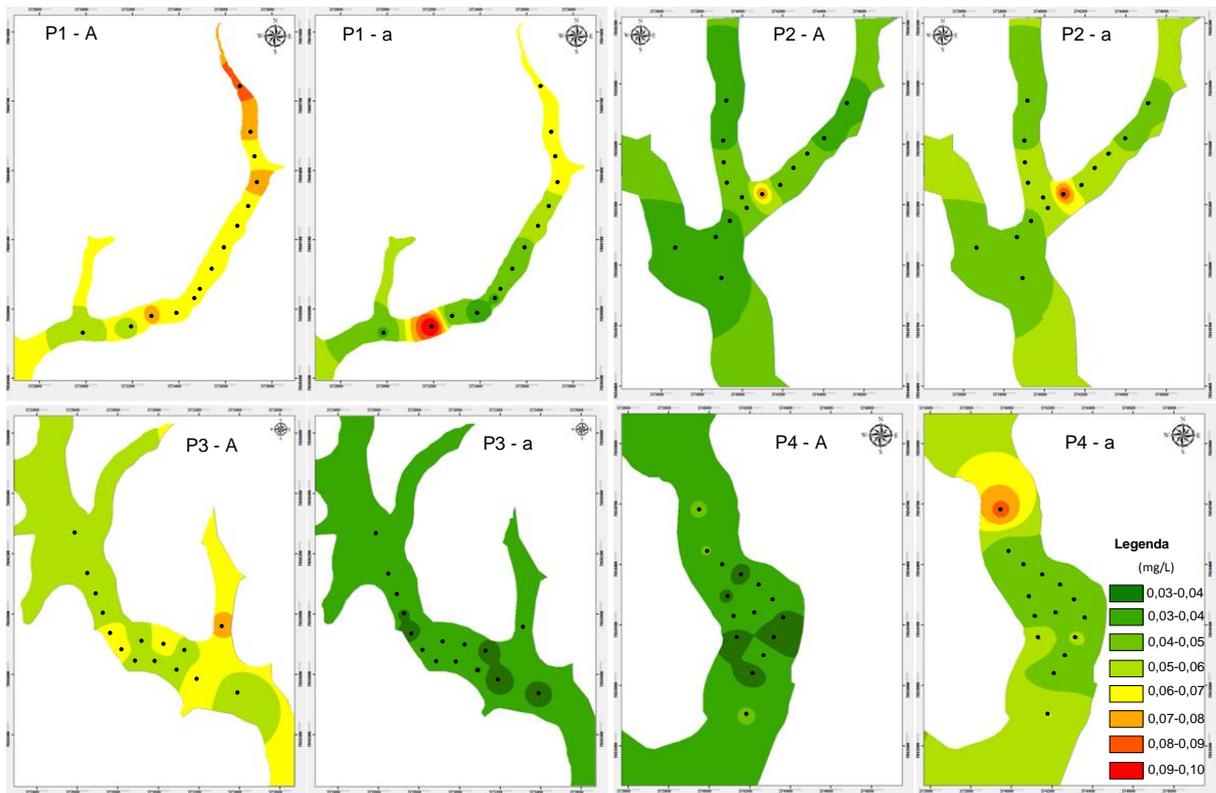


Figura 2.5. Mapas que ilustram a condição de dispersão e concentração do parâmetro fósforo total ao longo dos transectos realizado nas pisciculturas (P1 a P4) instaladas no lago Palminhas, sendo letras maiúsculas para estação “Seca” e letras minúsculas para estação “Chuvosa”. Os valores expostos na legenda estão fixados como mg/L e os pontos ao longo das imagens representam os locais de coleta.

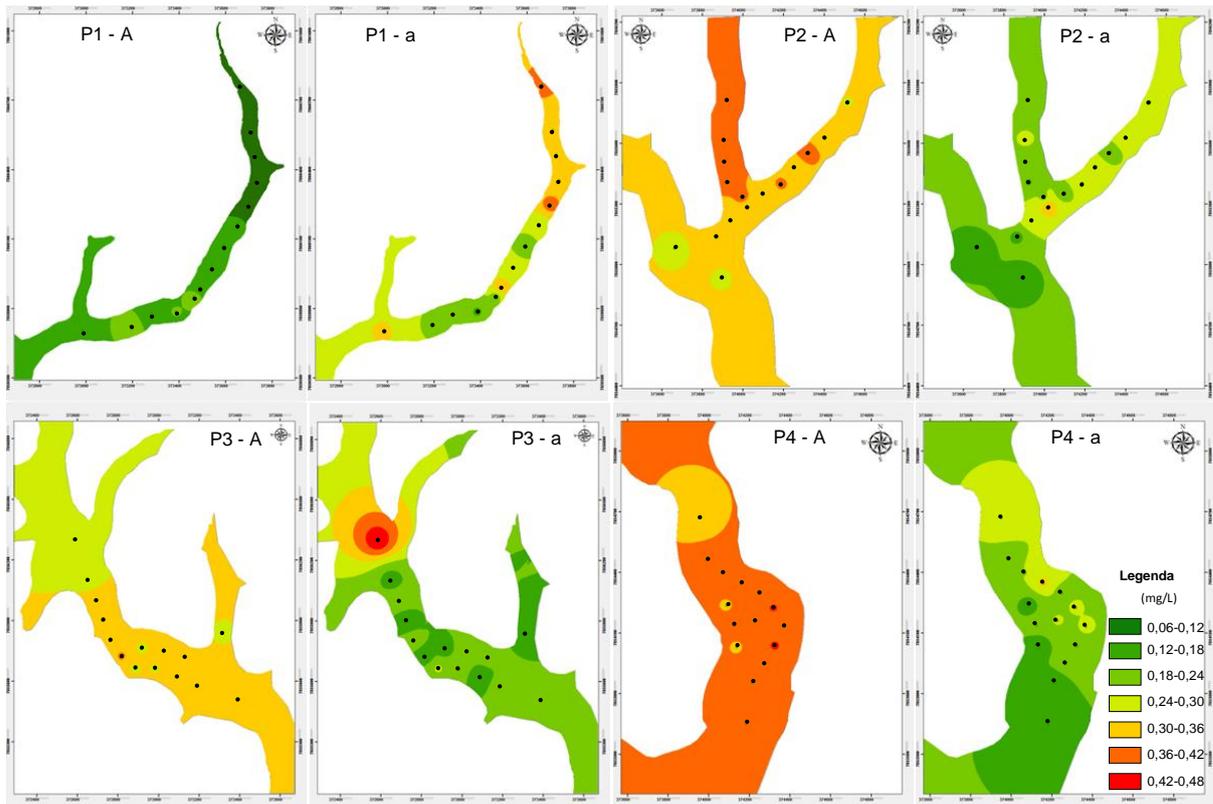


Figura 2.6. Mapas que ilustram a condição de dispersão e concentração do parâmetro Nitrogênio Amoniacal Total ao longo dos transectos realizados nas pisciculturas (P1 a P4) instaladas no lago Palminhas, sendo letras maiúsculas para estação “Seca” e letras minúsculas para estação “Chuvosa”. Os valores expostos na legenda estão fixados como mg/L e os pontos ao longo das imagens representam os locais de coleta.

Água de fundo

Os valores obtidos no monitoramento da água de fundo estão indicados nas figuras 2.7 (fósforo total, clorofila a e nitrogênio amoniacal total) e 2.8 (oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica). Tais figuras evidenciam que as concentrações foram bastante elevadas, especialmente na estação chuvosa, em que se constatou praticamente o dobro dos valores da estação seca. O inverso foi observado para o oxigênio dissolvido.

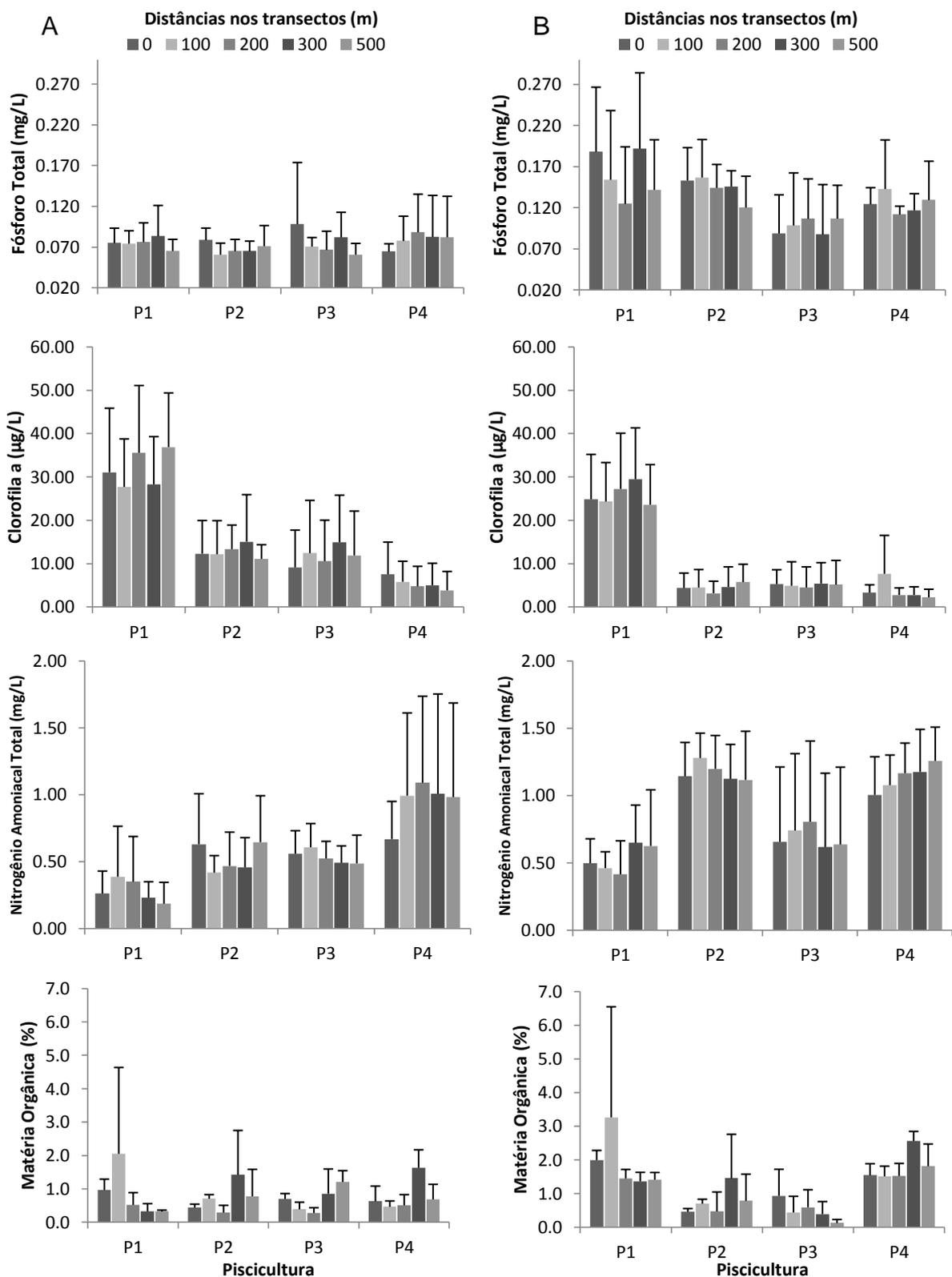


Figura 2.7. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água de fundo realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Nitrogênio Amoniaco Total e de percentual de matéria orgânica no sedimento. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.

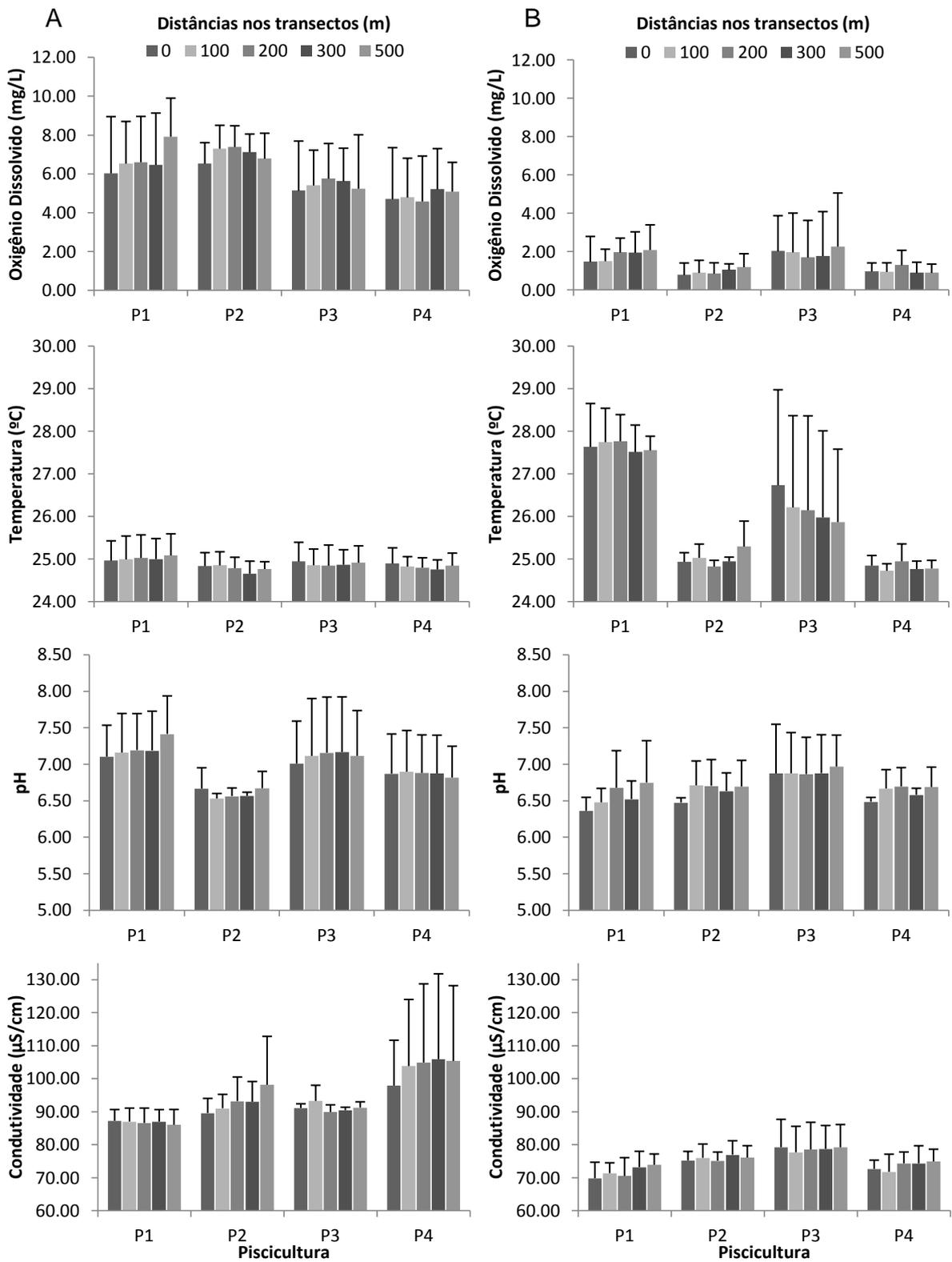


Figura 2.8. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento de água de fundo realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca (Coluna “A”) e chuvosa (Coluna “B”) para os parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica. P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.

Ao comparar as pisciculturas, todas as variáveis estudadas apresentaram um comportamento não paramétrico, sendo os resultados apresentados como mediana. Na estação seca não foi observada diferença significativa entre as pisciculturas para os parâmetros fósforo total, temperatura e matéria orgânica no sedimento, apresentando valores bastante próximos, enquanto para a estação chuvosa isso foi observado somente para oxigênio dissolvido. Durante a estação chuvosa, o fósforo total foi significativamente maior nas pisciculturas P1 e P2 quando comparadas às demais. A clorofila *a* na piscicultura P1 foi significativamente maior que a das demais pisciculturas nas duas estações, apresentando valores que chegam a cerca de dez vezes maiores que as demais pisciculturas. A concentração de nitrogênio amoniacal foi significativamente mais baixa na piscicultura P1 quando comparada às demais, em ambas as estações. O oxigênio dissolvido foi significativamente mais alto na piscicultura P1 na estação seca, não havendo diferença estatística para a estação chuvosa, enquanto o inverso ocorreu com a temperatura. A piscicultura P1 teve a temperatura significativamente mais alta nas estações seca (25,06°C) e chuvosa (27,60°C). A piscicultura P1 apresentou o pH significativamente mais alto na estação seca e mais baixo na estação chuvosa.

Tabela 2.3. Medianas obtidas no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros fósforo total (PT), clorofila a (Clor.a), nitrogênio amoniacal total (NAT), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (Temp), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE), no monitoramento de água de fundo, e para o parâmetro matéria orgânica (MO) no sedimento, além de resultados do teste estatístico realizado por meio de Anova on Ranks e pelo teste de Dunn.

ESTAÇÃO SECA								
Piscicultura	PT (mg/L)	Clor. a (µg/L)	NAT (mg/L)	OD (mg/L)	Temp (°C)	pH (unidade)	CE (µS/cm)	MO (%)
P1	0,070 ^a	29,75 ^a	0,179 ^a	7,53 ^a	25,06 ^a	6,96 ^a	87,50 ^a	0,53 ^a
P2	0,066 ^a	10,71 ^c	0,424 ^{cd}	7,04 ^a	24,73 ^a	6,58 ^b	90,00 ^b	0,55 ^a
P3	0,067 ^a	14,28 ^c	0,559 ^d	5,64 ^b	24,90 ^a	6,80 ^a	91,00 ^b	0,50 ^a
P4	0,063 ^a	3,57 ^b	0,652 ^b	5,48 ^b	24,86 ^a	6,60 ^b	93,00 ^c	0,72 ^a
ESTAÇÃO CHUVOSA								
Piscicultura	PT (mg/L)	Clor. a (µg/L)	NAT (mg/L)	OD (mg/L)	Temp (°C)	pH (unidade)	CE (µS/cm)	MO (%)
P1	0,137 ^{ac}	26,18 ^a	0,441 ^a	1,18 ^a	27,60 ^a	6,37 ^a	71,65 ^a	1,53 ^a
P2	0,145 ^a	3,57 ^b	1,144 ^b	1,13 ^a	24,90 ^{bd}	6,50 ^b	74,80 ^{bc}	0,51 ^b
P3	0,117 ^b	3,57 ^b	0,912 ^a	1,10 ^a	25,10 ^b	6,80 ^b	75,00 ^b	0,33 ^b
P4	0,113 ^{bc}	2,38 ^b	1,090 ^b	1,14 ^a	24,70 ^{cd}	6,54 ^b	74,20 ^{ac}	1,72 ^a

Perfis

Foram produzidos perfis de temperatura e oxigênio dissolvido, conforme dados coletados em campo, os quais se encontram na figura 2.9. Percebe-se que durante a estação seca a variação de temperatura e oxigênio dissolvido, ao longo das profundidades monitoradas (0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 8,0; 10,0; 15,0; 20,0) foi pouco acentuada, diferindo do que fora observado na estação chuvosa. Nesta última, observou-se que em torno dos 6,0 metros encontrava-se o início da condição crítica de concentração de oxigênio dissolvido (inferior a 5,0 mg/L) no lago, e que por volta dos 8,0 metros ocorre acentuada estratificação térmica.

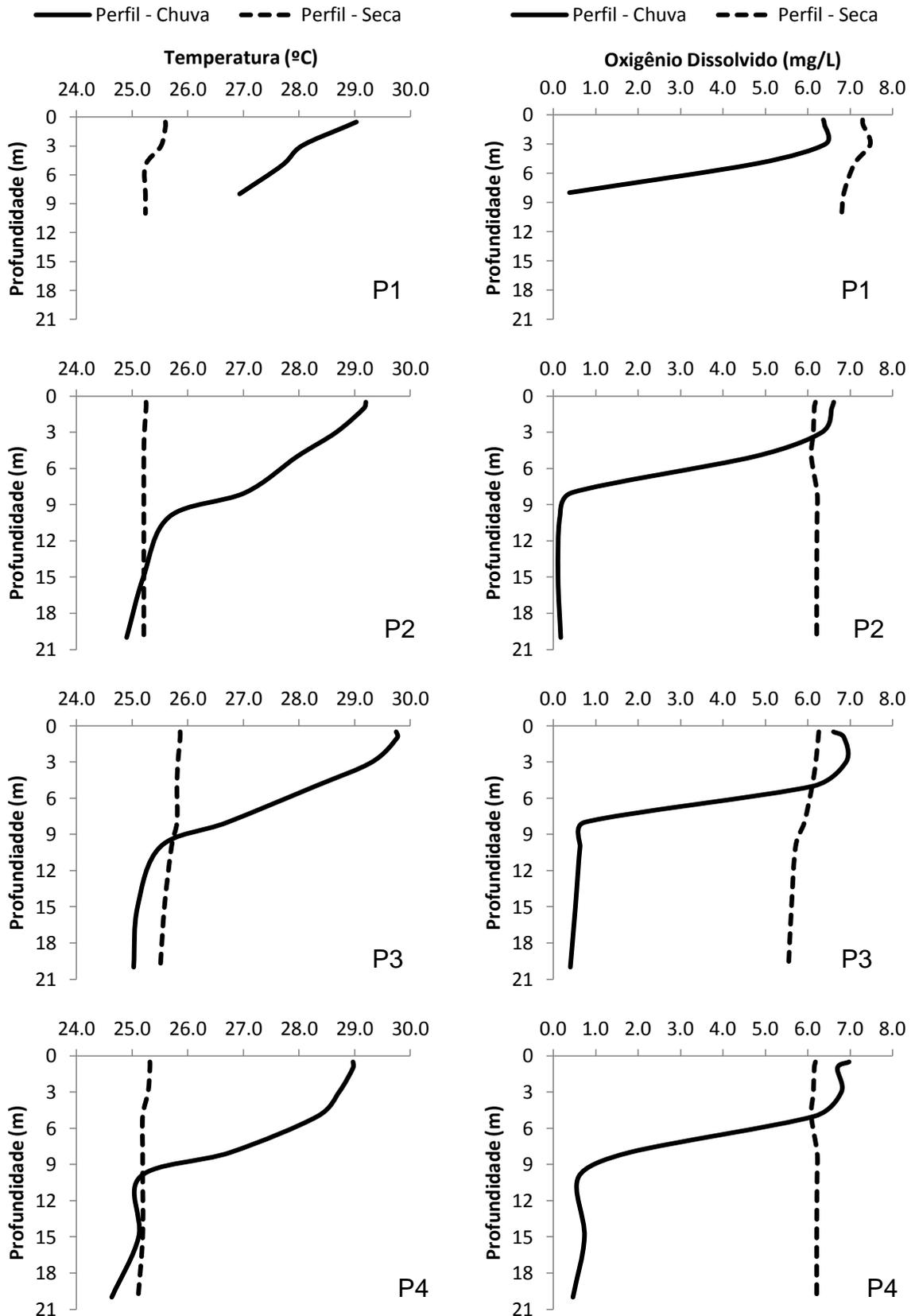


Figura 2.9. Perfis de temperatura e oxigênio dissolvido observado na localização das pisciculturas (P1,P2, P3 e P4) nas estações seca e chuvosa.

DISCUSSÃO

Não foi possível identificar um padrão único de diluição para nenhuma das variáveis estudadas e em nenhuma das pisciculturas, notando-se, porém, que a diluição a partir da piscicultura 3 se mostra mais eficiente. Esses resultados demonstram que um raio de 500 metros não é, em regra, o suficiente para dispersar substancialmente os nutrientes e o fitoplâncton no lago Palminhas, sendo todo ele uma zona de mistura. A principal explicação é a baixa velocidade da corrente, normalmente entre 0 e 0,1 m/s, com picos de até 0,71 m/s em momentos pontuais, comumente no sentido montante – jusante do lago. Trabalhos realizados em outros ambientes lênticos mostram um padrão diferente com uma diluição da água dentro de um transecto, muitas vezes inferior a 500m, podendo, no entanto, estar associado à formação geográfica do local e à localização dos pontos de entrada de água (Bueno *et al.*, 2008; Gondwe *et al.*, 2011). Gondwe *et al.* (2011) ao estudarem as condições de dispersão de poluentes a partir de uma piscicultura localizada no lago Malawi, África, com capacidade de produção anual de pescado de 200 ton, observaram que os impactos na coluna d'água em seu entorno foram pequenos, não encontrando diferenças significativas para quase todas as variáveis monitoradas. Naquele estudo, Gondwe *et al.* (2011) monitoraram um único transecto partindo de um ponto central e outros oito pontos (quatro para cada lado), em padrão de distribuição semelhante ao adotado no presente trabalho, e registraram que os poluentes oriundos dos tanques-rede foram eficientemente dispersados, ao longo do transecto monitorado, pelas correntes de água, que apresentaram velocidades entre 0,4 e 47,2 cm/s, com média de 9,3 cm/s – valor próximo ao mínimo observado no lago Palminhas. Por outro lado, Pusceddu *et al.* (2007) havia

observado a dispersão de poluentes a partir de pisciculturas localizadas no mar Mediterrâneo, notando que, para todos os parâmetros monitorados, 200m seriam o limite espacial potencial para a extensão dos impactos, o que poderia estar associado a grandes vazões registradas e corrobora com o observado por Holmer *et al.* (2008), que identificou que a zona de mistura alcançaria cerca de 50m, e a partir daí haveria dispersão potencial, o que evidencia que a velocidade das correntes são fundamentais para uma boa diluição de poluentes.

Zanatta *et al.* (2010) observaram que o cultivo de peixes em tanques-rede havia causado somente modificações leves em algumas variáveis monitoradas em seu estudo, pois os níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo) não apresentaram diferenças significativas entre os sítios pesquisados (piscicultura e controle), sugerindo que a atividade ainda não havia afetado a qualidade da água. Diferente disso, Nyanti *et al.* (2012), ao estudar os efeitos da aquicultura na qualidade da água de uma represa em Sarawak, na Malásia, observaram diferenças significativas entre os pontos com piscicultura e o ponto controle monitorado, principalmente para clorofila *a*, concluindo que a aquicultura naquele local vem impactando substancialmente a qualidade da água. Neste caso, no entanto, Nyanti *et al.* (2012) constataram que para alguns parâmetros o impacto ultrapassava 100 metros de distância das pisciculturas, sendo este o limite monitorado.

Para o presente estudo, houve diferença significativa entre os valores observados nas pisciculturas, e, analisando mais aprofundadamente as Figuras 2.5 e 2.6, percebe-se que há certa melhoria na qualidade da água para os parâmetros fósforo total e nitrogênio amoniacal total nos pontos mais distantes das pisciculturas (500m), demonstrando um efeito negativo destas na qualidade da água, porém com indicação de que este efeito pode se dissipar em distâncias superiores ou mesmo

depositar-se no fundo do lago, no sedimento. Observando as figuras 2.7 e 2.8, percebe-se que o fósforo total na água de fundo do lago aumentou consideravelmente no período chuvoso, demonstrando que possivelmente ocorreu sedimentação deste nutriente e ressuspensão de parte do fósforo que estaria fixado no sedimento. Além disso, os valores relacionados à clorofila *a* e à condutividade elétrica foram bem mais baixos no período chuvoso em relação ao período seco, evidenciando que a ocorrência da pluviosidade auxilia na dispersão desses poluentes, mas não influencia o pH.

Ainda, foi observado o aumento da concentração do nitrogênio amoniacal total na água de fundo na piscicultura P2 durante o período chuvoso, o que pode ser explicado pela ocorrência de aumento de vazão a partir de um dos meandros que fica cerca de 800 metros à montante deste cultivo. Neste local observou-se pouca renovação de água e crescimento de plantas aquáticas durante o período seco, evidenciando existência de nutrientes disponíveis na região.

Como não foi observado no presente trabalho um padrão de diluição para nenhuma das variáveis testadas, todos os dados de cada transecto de uma determinada piscicultura foram agrupados. Assim, foi possível comparar uma piscicultura contra a outra a fim de observar se alguma criação apresenta qualidade de água pior que as demais. A piscicultura P1, localizada em uma reentrância do lago, apresentou a pior qualidade da água para quase todos os parâmetros analisados e nos dois períodos. A sua localização, assim como a das demais pisciculturas, foi selecionada pelo piscicultor por se tratar da área mais próxima a sua propriedade, o que viabilizava melhor infraestrutura de armazenamento de ração e acesso veicular ao lago. Com isso, a piscicultura P1 ficou localizada em uma região mais abrigada com baixa incidência de vento, o que reduz a capacidade de

mistura da massa d'água (Beveridge, 2008), e com baixa renovação de água, considerando que as menores vazões de corrente foram observadas neste local, como já evidenciado na Tabela 2.1. Segundo Halide *et al.* (2009) e Affonso *et al.* (2011), a localização de uma piscicultura deve levar em conta não somente os aspectos de segurança e conforto social, mas os requisitos ambientais para manter um ambiente saudável e propício à continuidade da atividade, pois a degradação da qualidade da água pode comprometer a criação como já vinha acontecendo com essa piscicultura que apresenta o pior índice de conversão alimentar dentre as estudadas. Tal observação pode justificar o fato de que a concentração de fósforo total encontrada no sedimento da região em que se localiza a P1 foi o dobro da concentração encontrada em P2, o triplo da concentração encontrada em P3 (mesmo sendo esta a piscicultura que apresentava maior produção de pescado no lago) e dez vezes maior que a concentração encontrada em P4. É possível, portanto, que parte do fósforo disponibilizado na coluna d'água esteja migrando para o sedimento.

Durante o período seco, diferente do ocorrido no período chuvoso, foi registrada somente pequena variação de temperatura da água entre superfície e fundo do lago, o que pode ter favorecido a mistura completa da massa de água, evidenciada pela ocorrência de concentração de oxigênio dissolvido muito próxima na superfície e no fundo do lago neste período, como observado na figura 2.9. Com isso, é possível que nutrientes e outros compostos e elementos que se encontravam alocados no sedimento ou na camada mais profunda de água tenham sido revolvidos e disponibilizados ao longo da coluna d'água (Beveridge, 2008; Gondwe, 2011, Sendacz *et al.*, 2006). Tal condição pode explicar os valores elevados observados durante o período seco para os parâmetros fósforo total, clorofila *a* e

nitrogênio amoniacal total. Considerando, também, que os valores de matéria orgânica observados no sedimento foram relativamente baixos, era esperado que as concentrações de oxigênio dissolvido não tivessem interferência direta dos efeitos de sua degradação, sabendo-se que o revolvimento do sedimento provavelmente disponibilizaria também esta matéria orgânica e que a isoterмия permitiria sua difusão ao longo da coluna d'água (Beveridge, 2008; Domagalski *et al.*, 2007; Kazi *et al.*, 2009; Wetzel, 2001), o que foi confirmado pelos resultados obtidos. Além disso, é possível que o parâmetro oxigênio dissolvido tenha sofrido influência positiva da ação dos ventos observados na região, pois durante a estação seca em todo o período monitorado foi registrada uma forte incidência de ventos no lago Palminhas, que favorece a difusão do oxigênio atmosférico na água (Beveridge, 2008).

CONCLUSÃO

Deste trabalho, pode-se concluir que:

- Não ocorre uma diluição eficiente e uma dispersão completa dos poluentes decorrentes das pisciculturas em um raio de 500 metros das criações instaladas em Palminhas. Porém, para as pisciculturas P2, P3 e P4 já se observa melhoria da qualidade da água após essa distância;
- A localização das criações em Palminhas é fator fundamental para a manutenção de uma boa qualidade da água. Os trechos localizados nos meandros do lago não são favoráveis à piscicultura, tendo-se observadas as melhores condições de qualidade da água nas pisciculturas localizadas nas regiões abertas da porção centro-sul do lago (P2, P3 e P4);
- Não é possível individualizar por completo o impacto decorrente de cada piscicultura quando comparadas P2, P3 e P4, já que estão distantes cerca de 1km uma da outra, e suas zonas de mistura e diluição praticamente se sobrepõem. Assim, o impacto das pisciculturas deve ser analisado em conjunto.

AGRADECIMENTOS

Trabalho financiado pela Associação de Aquicultores de Linhares (Aqualin) e CNPq, processos # 562079/2010-6 e 485011/2011-5. Trabalho realizado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica (UVV, Seag, Iema, Ufes, Aqualin) nº. 005/2011. LC Gomes é bolsista de produtividade científica do CNPq.

REFERÊNCIAS

Affonso, AG; Barbosa, C; Novo, EMLM. Water quality changes in floodplain lakes as a function of the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará). *Brazilian Journal of Biology* 2011; 71-3: 601-10.

APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington; 1998.

Arthur, RI; Lorenzen, K; Homekingkeo, P; Sidavong, K; Segvilaikham, B; Garaway, CJ. Assessing impacts of introduced aquaculture species on native fish communities: Nile tilapia and major carps in SE Asian freshwaters. *Aquaculture*, 2010; 299(1-4):81-88.

Beveridge, M. *Cage Aquaculture*. 3rd edition, John Wiley e Sons; 2008.

Boyd, C. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, 2003; 226:101-12.

Bozelli, RL; Esteves, FA; Roland, F; Suzuki, MS. Padrões de funcionamento das lagoas do baixo Rio Doce: variáveis abióticas e Clorofila-a (Espírito Santo – Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia* 1992; IV:13-31.

Bueno, GW; Marengoni, NG; Gonçalves Júnior, AC; Boscolo, WR; Teixeira, RA. Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaipu. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, Brasil/Maringá, 2008; 30(3):237-43.

Conte, L; Sonoda, DY; Shirota, R; Cyryno, JEP. Productivity and economics of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cage culture in South-East Brazil. *Journal of Applied Aquaculture* 2008; 20(1): 18-37.

Domagalski, J; Lin, C; Luo, Y; Kang, J; Wangb, S; Brown, LR; *et al.* Eutrophication study at the Panjiakou-Daheiting Reservoir system, northern Hebei Province, People's Republic of China: Chlorophyll-a model and sources of phosphorus and nitrogen. *Science Direct: Agricultural water management* 2008; 94:43-53.

Esteves, FA; Suzuki, MS; Callisto, MFP; Peres-Neto, PR. Teores de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e feopigmentos no sedimento de alguns ecossistemas lacustres do litoral do estado do Espírito Santo. UFRJ – Rio de Janeiro. *Oecologia brasiliensis* 1995; 1:407-17.

Gomes, LC; Chagas, EC; Martins-Junior, H; Roubach, R; Ono, EA; Lourenço, JNP. Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. *Aquaculture* 2006; 253(1-4):374-84.

Gondwe, MJS; Guildford, SJ; Hecky, RE. Physical–chemical measurements in the water column along a transect through a tilapia cage fish farm in Lake Malawi, Africa. *Journal of Great Lakes Research* 2011; 37:1, 102-13

Guo, L; Li, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. *Aquaculture, Amsterdam* 2003; 226(1-4):201-12.

Halide, H; Stigebrandt, A; Rehbein, M; McKinnon, AD. Developing a decision support system for sustainable cage aquaculture. *Environmental Modelling e Software* 2009; 24:694-702.

Holmer, M; Argyrou, M; Dalsgaard, T; Danovaro, R; Diaz-Almeida, E; Duarte, CM et al. Effects of fish farm waste on *Posidonia oceanica* meadows: Synthesis and provision of monitoring and management tools. *Marine Pollution Bulletin* 2008; 56(9): 1618–29.

Incaper – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. *Meteorologia e Recursos Hídricos: Série Histórica*. Disponível em: <<http://www.incaper.es.gov.br>>. Último acesso: 31 de Dezembro de 2012.

Kazi, TG; Arain, MB; Jamali, MK; Jalbani, N; Afridi, HI; Sarfraz, RA et al. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2009; 72:301-09.

Nyanti, L; Hii, KM; Sow, A; Norhadi, I; Ling, TY. Impacts of Aquaculture at Different Depths and Distances from Cage Culture Sites in Batang Ai Hydroelectric Dam Reservoir, Sarawak, Malaysia. *World Applied Sciences Journal* 2012; 19 (4): 451-56.

Offem, BO; Ayotunde, EO; Ikpi, GU; Ada, FB; Ochang, SN. Plankton-Based Assessment of the Trophic State of Three Tropical Lakes. *Journal of Environmental Protection* 2011; 2:304-15

Oliveira, EG; Pinheiro, AB; Oliveira, VQ; Silva Júnior, ARM; Moraes, MG; Rocha, IRCB *et al.* Effects of stocking density on the performance of juvenile pirarucu (*Arapaima gigas*) in cages. *Aquaculture* 2012; 370-371: 96–101.

Pusceddu, A; Frascchetti, S; Mirto, S; Holmer, M; Danovaro, R. Effects of intensive mariculture on sediment biochemistry. *Ecology Applied* 2007; 17: 1366–78.

Santos, RM; Rocha, GS; Rocha, O; Wisniewski, JS. Influence of net cage fish cultures on the diversity of the zooplankton community in the Furnas hydroelectric reservoir, Areado, MG, Brazil (Review). *Aquaculture Research* 2009; 40(7): 753-61

Santos, RM; Negreiros, NF; Silva, LC; Rocha, O; Santos-Wisniewski, MJ. Biomass and production of Cladocera in Furnas Reservoir, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 2010; 70(3);879-87.

Sendacz, S; Caleffi, S; Santos-Soares, J. Zooplankton biomass of reservoirs in different trophic conditions in the state of São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 2006; 66(1(B)):337-50.

Silva, IG; Moura, AN; Dantas, EW; Bittencourt-Oliveira, MC. Structure and dynamics of phytoplankton in an Amazon lake, Brazil. *Revista de Biologia Tropical* 2010; 58(4): 1421-36.

True, B; Johnson, W; Chen, S. Reducing phosphorus discharge flow through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquacultural Engineering*, 2004; 32:129-44.

Wetzel, RG. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd ed., Elsevier Academic Press; 2001.

Zanatta, AS; Perbiche-Neves, G; Ventura, R; Ramos, IP; Carvalho, ED. Effects of a small fish cage farm on zooplankton assemblages (*Cladocera and Copepoda: Crustacea*) in a sub-tropical reservoir (SE Brazil). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 2010; 5(4):530-39.

CONCLUSÕES GERAIS

Deste trabalho é possível concluir que:

- A atividade de aquicultura em tanques-rede, quando realizada em lagos naturais, é capaz de gerar impactos ambientais que podem ser mensurados por meio de monitoramento periódico, porém não deve ser considerada a única ou a principal contribuinte para degradação da qualidade da água deste ambiente.
- A localização escolhida para desenvolvimento da atividade é fundamental para garantir sustentabilidade ao empreendimento, devendo ser levados em consideração não somente os aspectos sociais, como a proximidade com propriedades do produtor, mas também os aspectos ambientais e as variáveis meteorológicas da região.
- Para o lago Palminhas, não foi observada diluição eficiente dos nutrientes e dos pigmentos em um raio de 500 metros das criações instaladas, sugerindo que a zona de mistura (região em que ocorre a diluição efetiva dos poluentes) é superior a esta distância. Além disso, os trechos localizados nos meandros do lago não são favoráveis à piscicultura, tendo-se observadas as melhores condições de qualidade da água nas pisciculturas localizadas nas regiões abertas da porção centro-sul do lago.
- O acompanhamento das pisciculturas e o monitoramento periódico da qualidade das águas e do sedimento são fundamentais para assegurar sua sustentabilidade e garantir o uso múltiplo dos corpos d'água.

ANEXO I

Tabela I.1. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Nitrogênio Amoniacal Total, para as amostras de água coletadas em superfície. Trans = distância do ponto de coleta em relação ao ponto inicial do transecto em metros; P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.

Trans	Estação	P1	P2	P3	P4	MÉDIA
Fósforo total (mg/L)						
0	Seca	0,067 ± 0,012	0,060 ± 0,019	0,062 ± 0,011	0,053 ± 0,013	0,060 ± 0,014
	Chuva	0,048 ± 0,012	0,054 ± 0,026	0,033 ± 0,015	0,025 ± 0,016	0,040 ± 0,017
100	Seca	0,069 ± 0,008	0,057 ± 0,008	0,056 ± 0,011	0,047 ± 0,014	0,057 ± 0,011
	Chuva	0,048 ± 0,020	0,041 ± 0,017	0,032 ± 0,018	0,028 ± 0,019	0,037 ± 0,019
200	Seca	0,066 ± 0,014	0,057 ± 0,011	0,061 ± 0,013	0,055 ± 0,007	0,060 ± 0,011
	Chuva	0,053 ± 0,010	0,041 ± 0,015	0,035 ± 0,017	0,026 ± 0,018	0,039 ± 0,015
300	Seca	0,065 ± 0,011	0,053 ± 0,015	0,059 ± 0,012	0,052 ± 0,009	0,057 ± 0,012
	Chuva	0,071 ± 0,041	0,035 ± 0,026	0,031 ± 0,021	0,026 ± 0,019	0,041 ± 0,027
500	Seca	0,071 ± 0,020	0,061 ± 0,024	0,063 ± 0,016	0,056 ± 0,008	0,063 ± 0,017
	Chuva	0,053 ± 0,010	0,036 ± 0,025	0,033 ± 0,016	0,047 ± 0,037	0,042 ± 0,022
Clorofila a (µg/L)						
0	Seca	40,86 ± 17,20	14,68 ± 6,79	11,77 ± 4,66	11,11 ± 6,16	19,60 ± 8,70
	Chuva	22,87 ± 5,33	14,54 ± 4,58	12,03 ± 4,64	12,56 ± 4,02	15,50 ± 4,64
100	Seca	33,25 ± 13,26	14,81 ± 6,25	12,43 ± 5,02	12,16 ± 5,08	18,16 ± 7,40
	Chuva	22,87 ± 7,51	16,66 ± 10,54	12,96 ± 5,99	13,62 ± 3,63	16,53 ± 6,92
200	Seca	36,76 ± 15,48	14,61 ± 4,78	11,64 ± 5,47	13,35 ± 3,71	19,09 ± 7,36
	Chuva	23,80 ± 5,93	12,56 ± 4,05	12,83 ± 5,12	12,69 ± 4,25	15,47 ± 4,84
300	Seca	34,51 ± 14,09	15,39 ± 4,73	12,43 ± 6,30	13,49 ± 6,01	18,95 ± 7,78
	Chuva	26,05 ± 5,55	11,50 ± 5,28	12,56 ± 6,23	13,09 ± 2,90	15,80 ± 4,99
500	Seca	40,46 ± 21,82	13,98 ± 5,43	13,88 ± 7,97	13,22 ± 5,75	20,39 ± 10,24
	Chuva	26,78 ± 8,41	11,50 ± 4,82	12,69 ± 4,99	12,69 ± 3,32	15,92 ± 5,39
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)						
0	Seca	0,141 ± 0,064	0,358 ± 0,137	0,329 ± 0,135	0,407 ± 0,106	0,309 ± 0,110
	Chuva	0,211 ± 0,147	0,241 ± 0,163	0,200 ± 0,155	0,241 ± 0,168	0,223 ± 0,158
100	Seca	0,141 ± 0,048	0,346 ± 0,102	0,300 ± 0,143	0,411 ± 0,118	0,300 ± 0,103
	Chuva	0,193 ± 0,127	0,271 ± 0,173	0,169 ± 0,125	0,258 ± 0,241	0,223 ± 0,166
200	Seca	0,124 ± 0,073	0,354 ± 0,137	0,310 ± 0,117	0,387 ± 0,115	0,294 ± 0,111
	Chuva	0,207 ± 0,125	0,228 ± 0,166	0,189 ± 0,143	0,222 ± 0,217	0,212 ± 0,163
300	Seca	0,135 ± 0,082	0,348 ± 0,126	0,304 ± 0,142	0,376 ± 0,107	0,291 ± 0,114
	Chuva	0,242 ± 0,141	0,236 ± 0,171	0,187 ± 0,155	0,165 ± 0,096	0,208 ± 0,141
500	Seca	0,121 ± 0,069	0,315 ± 0,092	0,297 ± 0,094	0,356 ± 0,115	0,272 ± 0,093
	Chuva	0,280 ± 0,153	0,183 ± 0,131	0,269 ± 0,267	0,171 ± 0,117	0,226 ± 0,167

Tabela I.2. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros Oxigênio Dissolvido e Temperatura para as amostras de água coletadas em superfície. Trans = distância do ponto de coleta em relação ao ponto inicial do transecto em metros; P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.

Trans	Estação	P1	P2	P3	P4	MÉDIA
Oxigênio dissolvido (mg/L)						
0	Seca	8,15 ± 0,78	7,44 ± 0,69	7,43 ± 1,08	7,27 ± 1,22	7,57 ± 0,94
	Chuva	5,86 ± 0,81	5,80 ± 0,78	6,47 ± 1,24	5,94 ± 0,73	6,01 ± 0,89
100	Seca	8,23 ± 0,79	7,88 ± 1,29	7,61 ± 1,26	7,00 ± 1,67	7,68 ± 1,25
	Chuva	5,96 ± 1,09	6,07 ± 1,00	6,62 ± 1,26	6,03 ± 0,73	6,17 ± 1,02
200	Seca	8,37 ± 0,76	7,60 ± 1,06	7,57 ± 1,33	7,05 ± 1,63	7,65 ± 1,20
	Chuva	5,99 ± 1,08	6,34 ± 1,07	6,83 ± 1,19	6,11 ± 0,65	6,32 ± 1,00
300	Seca	8,58 ± 0,83	7,75 ± 0,83	7,73 ± 1,52	7,31 ± 1,62	7,84 ± 1,20
	Chuva	6,15 ± 0,89	6,02 ± 1,07	6,79 ± 1,26	6,23 ± 0,70	6,30 ± 0,98
500	Seca	9,57 ± 0,86	7,80 ± 0,46	6,84 ± 2,00	7,37 ± 1,65	7,89 ± 1,24
	Chuva	6,30 ± 1,33	6,22 ± 1,06	6,88 ± 1,19	6,06 ± 0,77	6,37 ± 1,09
Temperatura (°C)						
0	Seca	25,49 ± 0,67	25,29 ± 0,39	26,11 ± 0,76	25,64 ± 0,72	25,63 ± 0,64
	Chuva	29,41 ± 1,28	29,77 ± 0,66	29,96 ± 0,99	29,79 ± 0,95	29,73 ± 0,97
100	Seca	25,43 ± 0,66	25,29 ± 0,37	25,76 ± 0,95	25,60 ± 0,71	25,52 ± 0,67
	Chuva	29,48 ± 1,22	29,73 ± 0,64	30,10 ± 1,00	29,76 ± 0,98	29,77 ± 0,96
200	Seca	25,47 ± 0,71	25,28 ± 0,42	26,06 ± 0,85	25,64 ± 0,67	25,62 ± 0,66
	Chuva	29,43 ± 1,40	29,71 ± 0,67	30,11 ± 1,05	29,78 ± 0,83	29,76 ± 0,99
300	Seca	25,46 ± 0,71	25,30 ± 0,53	26,10 ± 0,91	25,65 ± 0,68	25,63 ± 0,71
	Chuva	29,47 ± 1,35	29,74 ± 0,72	29,97 ± 0,65	29,82 ± 0,93	29,75 ± 0,91
500	Seca	25,48 ± 0,76	25,48 ± 0,73	25,91 ± 0,66	25,66 ± 0,70	25,63 ± 0,71
	Chuva	29,48 ± 1,37	29,79 ± 0,70	29,91 ± 0,59	29,78 ± 0,81	29,74 ± 0,87

Tabela I.3. Valores médios e desvios padrões obtidos no monitoramento realizado ao longo de transectos em 4 pisciculturas do lago Palminhas nas estações seca e chuvosa para os parâmetros Potencial Hidrogeniônico e Condutividade, para as amostras de água coletadas em superfície. Trans = distância do ponto de coleta em relação ao ponto inicial do transecto em metros; P1, P2, P3 e P4 = pisciculturas existentes no lago.

Trans	Estação	P1	P2	P3	P4	MÉDIA
Potencial Hidrogeniônico (unidade)						
0	Seca	7,04 ± 0,30	6,71 ± 0,37	6,97 ± 0,49	7,00 ± 0,77	6,93 ± 0,48
	Chuva	7,21 ± 0,49	7,23 ± 0,12	7,38 ± 0,57	7,67 ± 0,33	7,37 ± 0,38
100	Seca	7,16 ± 0,52	6,76 ± 0,48	7,11 ± 0,74	6,84 ± 0,51	6,97 ± 0,56
	Chuva	7,39 ± 0,52	7,61 ± 0,42	7,47 ± 0,47	7,87 ± 0,53	7,58 ± 0,49
200	Seca	7,14 ± 0,38	6,72 ± 0,32	7,07 ± 0,66	6,92 ± 0,51	6,96 ± 0,47
	Chuva	7,50 ± 0,63	7,74 ± 0,51	7,61 ± 0,36	7,81 ± 0,46	7,67 ± 0,49
300	Seca	7,11 ± 0,34	6,82 ± 0,52	7,13 ± 0,67	6,96 ± 0,55	7,00 ± 0,52
	Chuva	7,48 ± 0,54	7,72 ± 0,47	7,58 ± 0,36	7,79 ± 0,37	7,65 ± 0,44
500	Seca	7,51 ± 0,81	6,84 ± 0,41	7,13 ± 0,65	6,83 ± 0,38	7,08 ± 0,56
	Chuva	7,65 ± 0,88	7,74 ± 0,48	7,75 ± 0,31	7,71 ± 0,41	7,71 ± 0,52
Condutividade (µS/cm)						
0	Seca	84,89 ± 2,53	81,39 ± 13,01	86,44 ± 1,46	87,22 ± 0,89	84,99 ± 4,47
	Chuva	64,74 ± 5,10	68,32 ± 8,16	74,49 ± 14,48	67,51 ± 6,32	68,77 ± 8,51
100	Seca	84,89 ± 1,99	88,28 ± 3,10	86,11 ± 1,30	87,62 ± 1,84	86,73 ± 2,06
	Chuva	64,69 ± 5,62	68,26 ± 7,63	74,80 ± 14,75	64,34 ± 11,21	68,02 ± 9,80
200	Seca	85,22 ± 2,23	86,72 ± 3,14	87,00 ± 1,69	88,00 ± 2,04	86,74 ± 2,27
	Chuva	64,80 ± 5,76	68,37 ± 7,87	74,94 ± 14,21	68,11 ± 6,52	69,06 ± 8,59
300	Seca	85,00 ± 2,07	87,50 ± 3,00	86,44 ± 1,90	87,33 ± 2,01	86,57 ± 2,24
	Chuva	64,46 ± 5,19	68,01 ± 6,49	75,38 ± 14,13	67,70 ± 7,75	68,89 ± 8,39
500	Seca	85,67 ± 1,04	87,60 ± 3,66	86,56 ± 1,59	87,00 ± 1,82	86,71 ± 2,03
	Chuva	65,37 ± 7,82	68,95 ± 7,80	75,63 ± 13,43	67,38 ± 7,05	69,33 ± 9,03